

EVOLUCION GEOMORFOLOGICA Y EDAFOLOGICA DE LAS
ARENAS MOVILES DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA
(ESPAÑA)

Por

Alicia Apcarián

EVOLUCION GEOMORFOLOGICA Y EDAFOLOGICA DE LAS ARENAS
MOVILES DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA (ESPAÑA).

Por

Alicia Aparicián

Ingeniero Agrónomo

(REPUBLICA ARGENTINA)

Trabajo monográfico realizado por
la Ing. Agr. Alicia Aparicián, par
ticipante del XX curso internacio
nal para post-graduados de Edafo-
logía y Biología Vegetal, bajo la
dirección del Dr. Luis Clemente Sa
las, del Centro de Edafología y
Biología Aplicada del Cuarto, del

C.S.I.C.

Sevilla, Julio de 1983

Mi agradecimiento al Dr. D. Luis Clemente Salas
por la dirección y dedicación al presente trabajo.

 A la Lcda. D^a María Ayerbe Sales, por la inestim
mable ayuda en la realización de la mineralogía de arenas.

 Al Director del Centro, Prof. Dr. D. José Martín
Aranda, por las facilidades encontradas durante mi estadía
en los diferentes laboratorios.

 Al resto del personal científico y ayudantes,
que contribuyeron directa e indirectamente en la realiza-
ción del estudio.

 A la Srta. María de las Mercedes García Orgaz,
por su eficaz labor mecanográfica.

INDICE

	<u>Pág.</u>
I. INTRODUCCION	1
I.1 Geología	6
I.2 Geomorfología	7
I.3 Clima	11
I.4 Vegetación	19
II. METODOS	23
II.1 Métodos de campo	24
II.2 Métodos experimentales	25
II.2.1 Análisis químicos generales	25
II.2.2 Análisis físicos	27
II.2.3 Análisis mineralógico de arena	29
III. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION	41
III.1 Características granulométricas y mineralógicas del área de estudio	42
III.1.1 Características granulométricas	42
III.1.2 Características mineralógicas	52

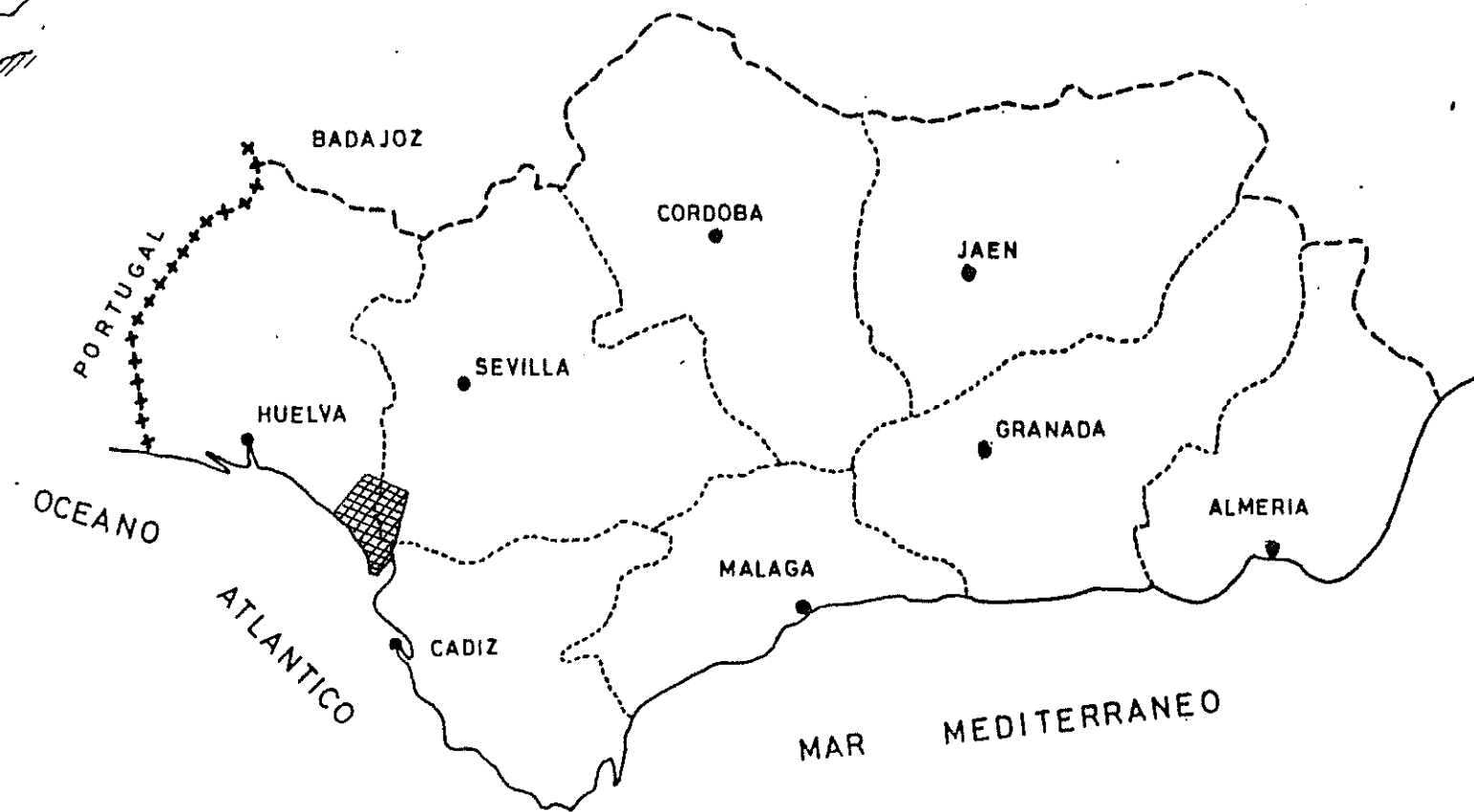
	<u>Pág.</u>
III.2 Propiedades, génesis y evolución de los suelos	68
III.2.1 Propiedades y comentarios de los resultados analí- tos	68
III.2.2 Génesis y evolución de los suelos	83
IV. CONCLUSIONES	90
V. BIBLIOGRAFIA	94

I. INTRODUCCION


La Reserva Biológica de Doñana, con una extensión de aproximadamente 7.000 Ha, se encuentra situada al SW del Parque Nacional del mismo nombre en la provincia de Huelva y comprendida en la hoja topográfica nº 1033, a escala 1/50.000.

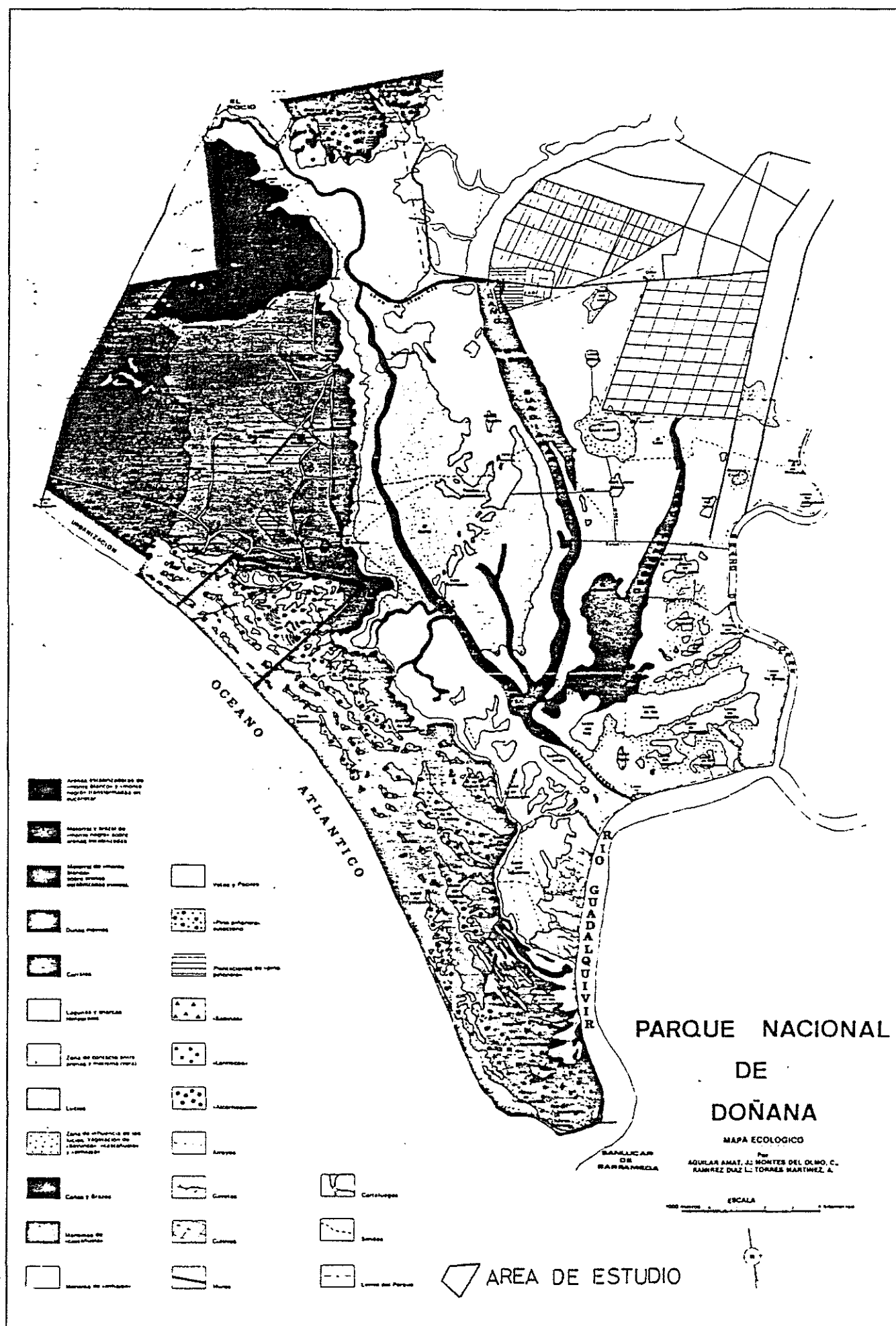
El área de estudio pertenece a la unidad geomorfológica de arenas móviles. Esta unidad que comienza a unos 5 Km de Torre de la Higuera (Huelva) se extiende más allá de los límites de la Reserva, hasta la desembocadura del río Guadalquivir, con una penetración desde el mar hacia el interior de unos 4,5 Km aproximadamente.

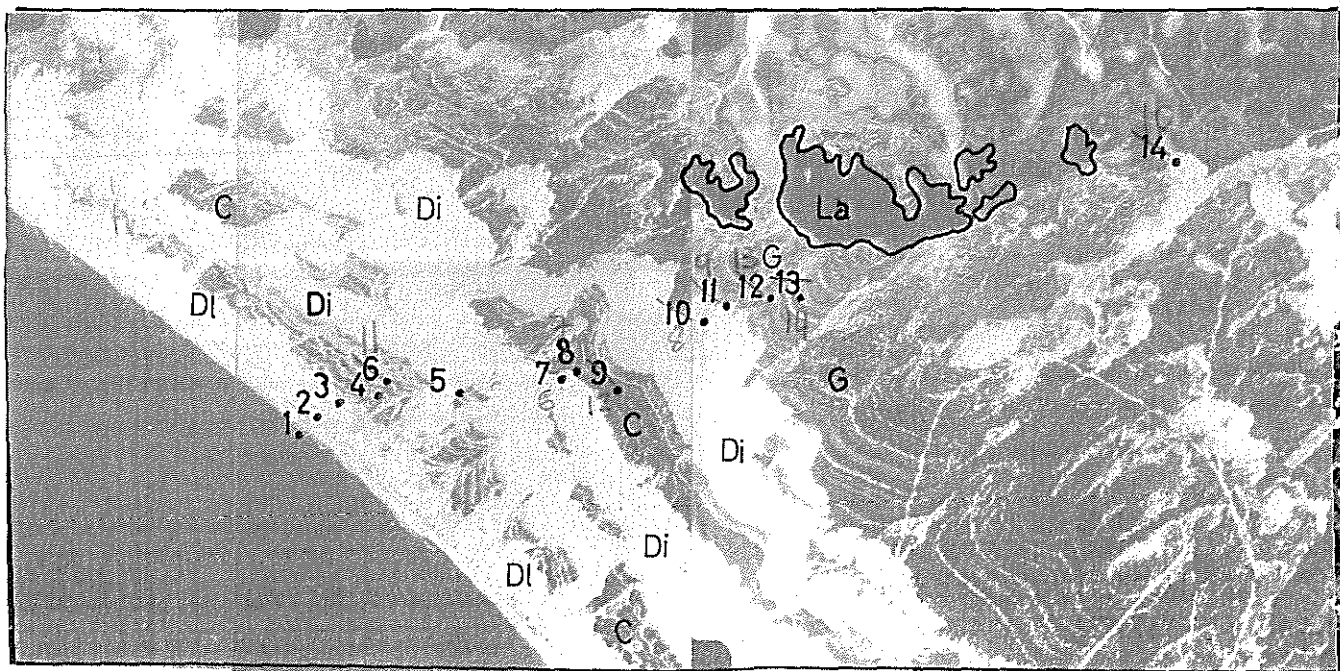
Concretamente, el muestreo realizado representa un transecto que comienza en la línea de playa y termina en la laguna de Santa Olalla, atravesando la zona de Corral Largo.



- +++++ LIMITE DEL PAIS
----- " DE LA REGION
..... " DE PROVINCIA

 PARQUE NACIONAL DE DOÑANA





Fotografía aérea del área de estudio. Subunidades y ubicación de las muestras. Dl: Trenes dunares litorales, Di: Trenes dunares internos, C: Corrales, E: Area de Contradunas de Santa Olalla ("Gusanos"). La: Laguna de Santa Olalla.

I.1 GEOLOGIA

La zona de estudio se encuentra situada en la hoja 1033 "Palacio de Doñana" que a su vez pertenece a la gran depresión de la cuenca del Guadalquivir. El valle del Guadalquivir es un antiguo golfo que con anterioridad constituyó un verdadero estrecho, comunicando el Atlántico con el Mediterráneo durante el Mioceno (Terán, 1967; Gignoux, 1960). Más tarde, las grandes convulsiones alpinas expulsan el mar de casi todos sus antiguos dominios, a excepción del sector bético, donde se encuentran las máximas profundidades del geosinclinal, continuando la sedimentación marina durante bastante tiempo. Resultado de esta sedimentación es un potente manto de margas y de areniscas y calizas detríticas.

Estos materiales mio-pliocenos, más o menos desmantelados en algunas zonas, levantados en otras, constituyen por lo general la base de los depósitos cuaternarios del Guadalquivir (Clemente, 1973). Dentro de la zona de estudio, el terciario termina con unas arenas llamadas basales, pertenecientes al plioceno final o Villafranquiense y que supone la parte más alta del farallón costero que desaparece por hundimiento en la hoja 1033 (Palacio de Doñana), pero que se encuentra en la base de las arenas consideradas cuaternarias.

Las arenas basales llegan a superar los límites de la transgresión miocena y pliocena ya que se apoyan a veces sobre el Paleozóico en el vértice NO de la hoja de Huelva, mientras que en la zona de marismas aparecen concordantes con la serie marina del Mioceno, lo que indica una subsidencia parcial de la cuenca en la amplia zona ocupada por estos sedimentos (IGME, 1975). Actualmente, el área de estudio está cubierta por materiales cuaternarios de aporte eólico (zona de arenas) o de aporte aluvial (zona de marismas).

Dichas arenas tienen su origen en los materiales infrayacentes (arenas basales) por erosión del farallón costero, y posterior transporte eólico hacia el interior. Puede distinguirse una zona de dunas más antiguas fijadas, formando un sistema que se encuentra levantado sobre el farallón costero anteriormente citado (Menéndez Amor y col., 1964; García Novo y col., 1975). Este farallón alcanza una altura de 10 metros en Matalascañas, desapareciendo a lo largo de la costa. El acantilado parece apoyar la hipótesis de un basculamiento de la costa hacia el Este, alrededor de un eje N-S Almonte-Matalascañas (Ménanteau y Clemente, 1977 a, b). La consecuencia de este movimiento sería doble: en la zona levantada, las dunas fijas no reciben aporte de material costero, al no poder remontar la arena el acantilado y en la parte hundida, el mar ha erosionado el sistema de dunas fijas que ha quedado posteriormente cubierto por nuevos aportes que forman el sistema de dunas móviles de Doñana (Siljeström, 1981).

I.2 GEOMORFOLOGIA

Dentro de la Reserva Biológica de Doñana pueden diferenciarse tres grandes unidades geomorfológicas atendiendo tanto a su dinámica como a sus características: arenas estabilizadas, arenas móviles y marisma (Allier y col., 1974).

La zona de estudio se integra dentro de la unidad arenas móviles, en la que la movilidad del sustrato y la fluctuación de la capa freática pueden considerarse como los factores controlantes.

En efecto, en función de estos factores puede subdividirse dicha unidad en las siguientes subunidades:

- Trenes dunares
- Corrales
- Area de contradunas de Santa Olalla (Gusanos)

Trenes dunares

Con dirección paralela a la playa aparecen una serie de cordones dunares que, en una primera aproximación, pueden diferenciarse en un tren litoral y otro más interno, en función fundamentalmente a su altura.

El tren litoral se caracteriza por su menor tamaño y mayor movilidad. Comienza a formarse en la zona denominada "Playa Alta" como pequeños montículos de arenas que se van asociando hasta formar un cordón de dunas discontinuos y de forma irregular que avanza en dirección SW-NE.

Al alejarse de la playa, el tren de dunas disminuye su velocidad, lo que permite su crecimiento en altura. Dicho crecimiento posibilita la diferenciación morfológica entre los trenes litoral e interno.

El tren interno comprende tres cordones dunares ubicados entre el tren litoral y el sistema de lagunas que marcan el contacto entre las arenas estabilizadas y las dunas (García Novo y col., 1975).

Estos cordones dunares son más regulares que los litorales. Su principal característica es la asimetría, con una pendiente muy abrupta en el frente de avance (30°), y otra de deflación muy tendida ($3^{\circ} - 4^{\circ}$) que forma una cola casi horizontal.

La arena es transportada por el viento, acumulándose en la cima de las dunas hasta superar el punto de equilibrio. Alcanzada esta circunstancia, el frente se derrumba en avalanchas, continuando de esta forma su avance. En la zona de Corral Largo se ha determinado la velocidad

de dicho avance, calculándose que, aún siendo muy variable, tiene un valor de 5 m por año en sitios concretos (García Novo y col., 1975). La altura de los trenes no es uniforme, alcanzando valores de 8-10 m dentro de la zona de estudio, y hasta 20 m fuera de la Reserva, hacia la desembocadura del Guadalquivir.

La variabilidad de la altura y actividad a lo largo del sistema dunar, determina la irregularidad de éste. En conjunto, presenta una alineación paralela a la costa, pero a mayor escala la forma de los trenes es ondulada.

Corrales

Los corrales son valles interdunares de fondo horizontal y húme-do, que corresponden a la capa freática del conjunto. Por la proximidad de dicha capa freática, la arena adquiere una coherencia que permite el desplazamiento de las dunas sobre dicho fondo, como un sustrato. Al pasar la duna, la arena barrida por el viento queda retenida por el agua ascendente por capilaridad, apareciendo detrás del tren una superficie casi horizontal (cola de duna) que dará origen a un nuevo corral.

Los tamaños de los corrales son muy variables, dependiendo de los frentes de dunas entre los que están comprendidos y de la velocidad de avance de dichos frentes (García Novo y col., 1975).

Dentro de los corrales se observan unas formaciones, denominadas contradunas, que han sido descritas por Paul (1944, 1953). Son pequeños montículos de arena de altura inferior a 50 cm, fijados por la vegetación. En efecto, al pasar la cola de duna queda al descubierto una superficie húmeda, favorable para la instalación de la vegetación, que si coincide con una disminución de la velocidad de avance, será rápidamente colonizada y fijada por ella (García Novo y col., 1975).

En estas condiciones, es posible el inicio de los procesos edafogénicos condicionados fundamentalmente por la capa freática, que provoca fenómenos de hidromorfía de tipo gley y/o pseudogley en ocasiones muy concretas.

Area de contradunas de Santa Olalla ("Gusanos")

Dentro de la subunidad anterior aparecen pequeñas elevaciones arenosas de 0,5 a 1 metro de altura, paralelas entre sí y a la cola de duna precedente. Su formación está estrechamente ligada a la superficialidad del nivel freático, que permite la colonización por la vegetación. Cuando el frente de dunas reanuda su avance, deja fijada parte de la cola que formará una futura contraduna. El resultado es una formación en bandas semicirculares y concéntricas cuya menor representación se encuentra en la zona conocida con el nombre de "Gusanos".

Esta gran extensión de contradunas tiene su origen en el nivel acuífero de la laguna Santa Olalla, cuya superficie se ha visto disminuida por el avance de los frentes dunares. A ambos lados de la laguna puede observarse el último frente de dunas interrumpido linealmente por su presencia.

Detrás se han formado una serie de formaciones semicirculares fácilmente reconocible en la fotografía aérea.

En esta zona se han muestreado las partes altas (perfil Gusano Alto) y las pequeñas depresiones existentes entre dos contradunas (perfil Gusano Bajo). Estas dos situaciones son representativas de todo el área de Gusanos, que por su extensión y especial morfología ha sido considerada como una subunidad geomorfológica independiente dentro de la gran unidad de arenas móviles.



Línea de costa y farallón Villa-
franquiense.



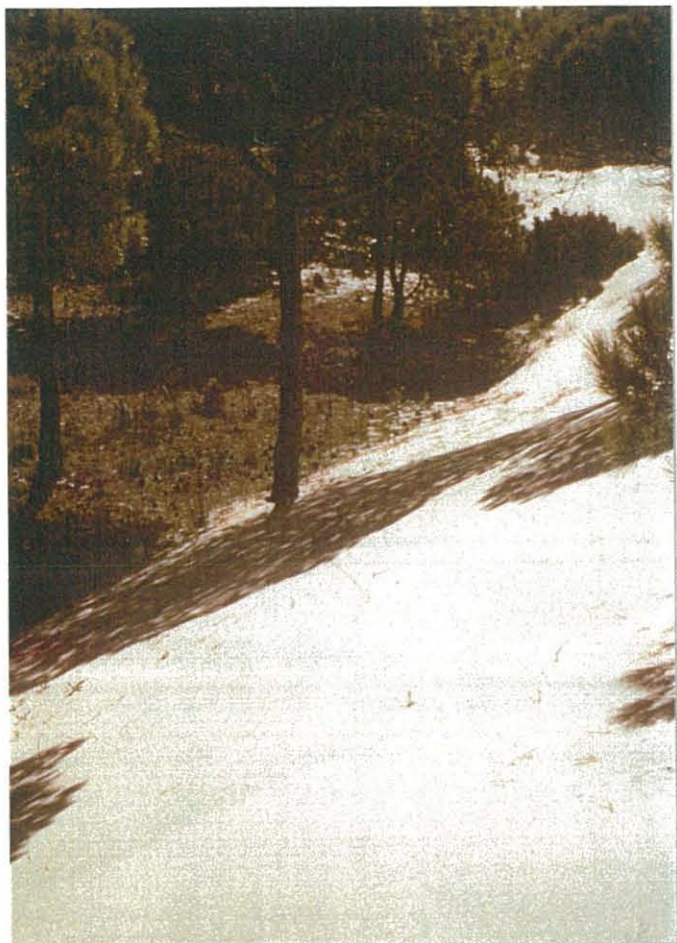
Corral seco y primer frente del cordón de
dunas internas.



Avance dunar sobre antiguos corrales sepultando
Pinus pinea.



Laguna de Santa Olalla. Al fondo
frente dunar avanzando sobre la la
guna (zona de contradunas, "Gusa-
nos").



Corral Largo y punta de
avance de tren dunar in
terno.



Cordón dunar interno sobre Corral Largo.

I.3 CLIMA

Para la definición del clima del área de estudio se han utilizado los datos de la estación Almonte-Abalarío situada próximamente.

En la tabla 1 se recogen los datos de temperaturas (máximas, mínimas y medias) y de precipitaciones, así como otros datos derivados de los anteriores, tales como la evaporación y el déficit y exceso de agua. Estos datos están agrupados por meses durante la década 1967-1976.

La observación de estos datos indica que el clima está caracterizado por un invierno corto y suave, con temperaturas raramente inferiores a 0°C . Por el contrario, el verano presenta temperaturas más extremas, sobrepasando a veces los 40°C en los meses de Julio y Agosto.

Mientras que las temperaturas tienen una gran regularidad, las precipitaciones presentan una distribución muy irregular, no sólo durante la década sino también a lo largo de cada año.

El balance hídrico presenta un exceso de agua en invierno y un déficit aún más marcado en verano, como se refleja en la fig. 1. Esta alternancia de humedad y sequedad tiene una influencia decisiva sobre los procesos edafogenéticos.

A partir de los datos de temperatura y precipitación puede definirse el clima de la zona de estudio como mesotérmico, seco subhúmedo, con exceso de agua en invierno, según la clasificación de Thorntwaite (1948), con una simbología $C_1 B'_1 S_2 b'_4$. Los datos climáticos permiten establecer en los suelos un régimen xérico. Cuando la profundidad de la capa freática tiene una influencia importante sobre la evolución edáfica, el régimen de humedad de los suelos puede definirse como ácuico.

TABLA 1. Datos climáticos

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
T. máx. °C	16,4	17,2	19,2	21,2	24,6	29,6	33,8	33,5	28,8	25,3	19,3	15,7	23,7
T. mín. °C	2,8	5,6	6,7	8,2	10,3	12,8	15,5	15,5	12,8	10,0	5,2	2,9	9,0
T. media °C	9,6	11,4	12,9	14,7	17,4	21,2	24,7	24,4	20,8	17,6	12,2	9,3	16,4
Precipit.	112,7	94,1	82,4	63,9	28,0	21,2	0,0	5,4	15,8	40,4	79,2	90,9	634,0
Evaporación	22,0	24,1	40,6	57,3	81,4	113,6	138,4	130,5	97,6	67,9	35,3	21,6	830,3
Exceso agua	90,7	70,0	41,8	6,6	-	-	-	-	-	-	-	13,2	222,3
Falta agua	-	-	-	-	-	45,8	138,4	125,1	81,8	27,5	-	-	418,6

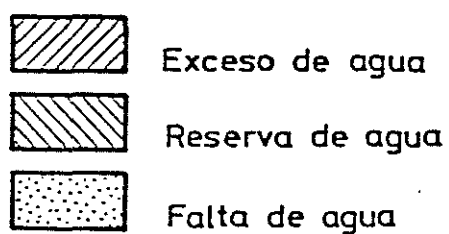
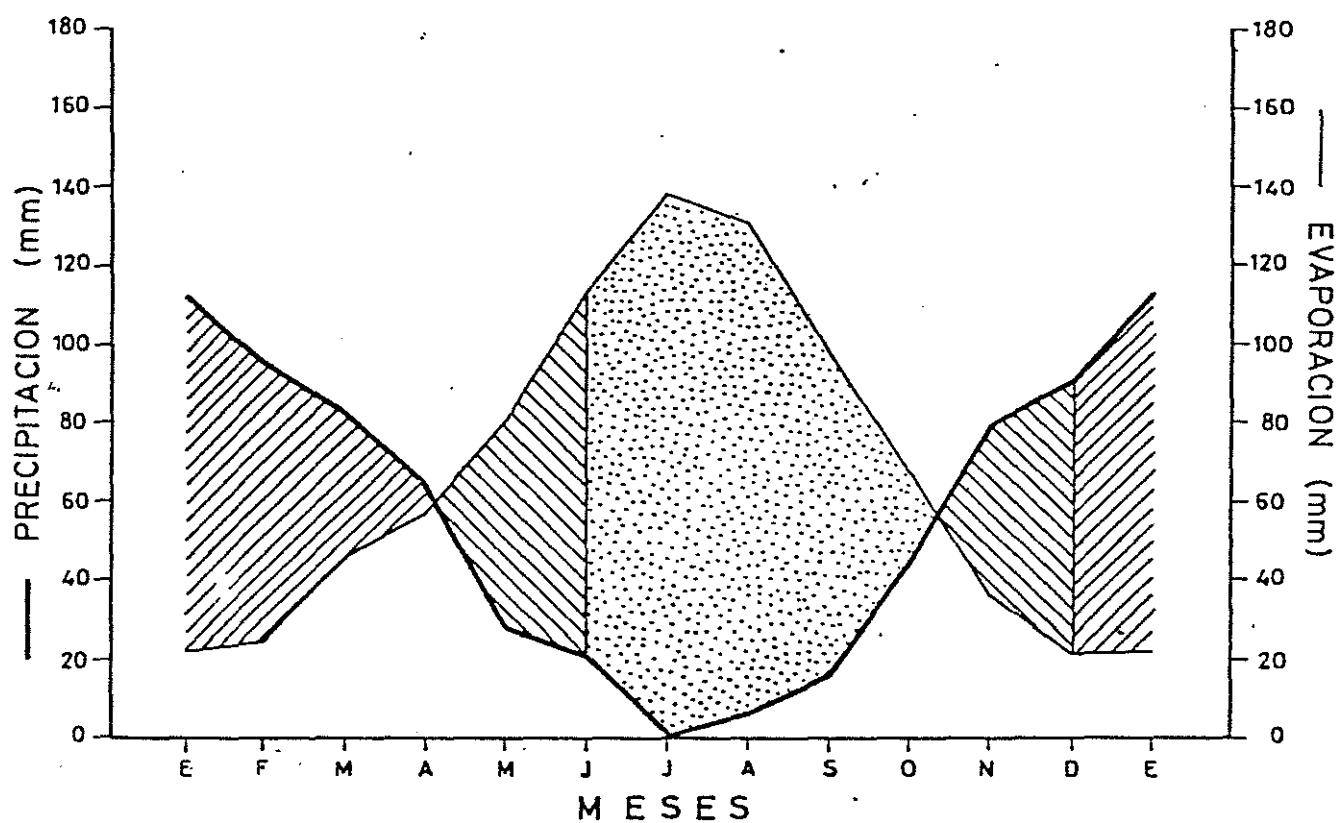


Fig.1 Balance hídrico mensual en la década 1967 - 76.

I.4 VEGETACION

La vegetación del sistema de arenas móviles puede separarse en tres unidades, de acuerdo con sus tres biotipos principales (García Novo y col., 1975) :

1. Playa alta y tren de dunas litorales donde la influencia del mar es considerable.
2. Trenes internos con substrato móvil y nivel freático profundo.
3. Corrales, con substrato estable y nivel freático cercano a la superficie.

De acuerdo a estudios realizados por Rivas Martínez y col. (1966), Cabezudo-Artero (1974), Ramírez Díaz (1973) y Torres (1975) se resumen aquí algunos resultados obtenidos describiendo los principales tipos de vegetación detectados.

1. La zona de playa y tren de dunas litorales presenta una vegetación típica de litoral arenoso. Las primeras especies que aparecen son Cakile maritima Scop., Euphorbia paralias (L.), Eryngium maritimum (L.), Pancratium maritimum (L.), un poco más al interior aparecen Carex arenaria L., Malconia littorea R.Br., Cyperus shoenoides Griset., y Ammophila arenaria (L.); a las que se añaden localmente especies características de dunas de los trenes internos.
2. En el área de trenes internos pueden distinguirse varias facies en función de la mayor o menor movilidad del substrato y profundidad del nivel freático.

2.1 Arenas muy móviles y colas de dunas.— Corresponden a las localizaciones más inestables del substrato, con una acusada sequedad en la parte superficial, lo que condiciona una vegetación muy rala. Las especies más características son Ammophila arenaria (L.), Cyperus scholnoides Griset., Echium gaditanum Boiss, Rumex tigitanus L.; las dos primeras aparecen con mayor abundancia. A veces sobre la duna, en situaciones temporalmente estables, aparecen poblaciones densas de Leoflingia baetica Lag., Ononis subspicata Lag., y Corynephorus canescens (L.) P. Beauv.

2.2 Arenas menos móviles y primeras contradunas.— Ocupan dunas menos activas y de mayor estabilidad. El substrato es inestable pero no tan móvil como en el caso anterior, con mayor disponibilidad aparente de nutrientes.

Son especies características: Armeria pungens (Link) Hoff y Link, Carex arenaria L., Artemisia campestris L., ssp maritima (Lloyd) Arcang., Malconia littorea (L.) R. Br., y Scrofularia frutescens L.

En las facies de deflación predomina Armeria pungens que soporta bien el descalzamiento. En las de acumulación Carex arenaria.

2.3 Arenas poco móviles (frentes estabilizados).— Son características de esta facie: Corema album (L.) Don. in Sweet, y Helichrysum italicum (Roth.) Guss. La estabilidad del substrato es mucho mayor que en los anteriores, pero la profundidad del nivel freático (2-10 m) hace que la superficie de la arena se mantenga seca e inestable, sin formación ni desarrollo de vegetación herbácea.

En esta facie el movimiento de arenas es lento y Corema album sobrevive tanto al enterramiento como al descalzamiento progresivo.

Dentro del sistema de dunas vivas se encuentran bosquetes dispersos de Juniperus oxycedrus L. como recuerdo de la estructura del bosque anterior a la puesta en movimiento de los frentes dunares (García Novo y col., 1979). Resulta notable la existencia de "mogotes" dentro del sistema, coronados por ejemplares antiguos de Pinus pinea L., Juniperus oxycedrus L., e incluso Tamarix africana Poir y Populus alba L.

3. Entre los diferentes trenes de dunas aparecen los corrales cuyo substrato estable, y poca profundidad del nivel freático, permiten el desarrollo de una cobertura vegetal más densa.

En general, los corrales presentan vegetación arbórea, constituida fundamentalmente por Pinus pinea L., acompañada a veces de Juniperus phoenicea L. ssp Lycia (sabinas) y Juniperus oxycedrus L. ssp macrocarpa (enebro) muy raramente. En función de la profundidad de la capa freática distinguimos:

- 3.1 Corrales secos.— Existe una asociación compuesta por Rosmarinus officinalis L., Lavandula stoechas L. ssp pedunculata (Miller) Sap. y Rocies., Osyris quadripartita Salzen. ex Decne., Cistus salvifolius L. Representan los corrales más antiguos situados delante de frentes estables. La estabilidad del suelo permite un aumento de materia orgánica y mayor fertilidad. Su ocupación sólo está limitada por la sequía veraniega. Predomina el Juniperus phoenicea que tiende a suplantarse a Pinus pinea por regenerarse con mayor facilidad en estas condiciones de substrato seco.
- 3.2 Corrales ligeramente más húmedos.— Representan corrales con nivel freático entre uno y tres metros de profundidad y substrato estable. Halimium halimifolium (L.) Willk in Willk & Lange, Halimium conmutatum Pau, Stauracanthus genistoides (Brot.) Samp. y Pinus

pineae L. son las especies más características de estos corrales, si bien es destruida periódicamente por cada nuevo frente de avance. Así, Pinus pinea se hace predominante sobre Juniperus phoenicea L., ya que la ecología del primero presenta una fina adaptación a este ambiente fluctuante (Figuerola, 1976).

- 3.3 Corrales húmedos.— Presentan la capa freática cercana a la superficie (0,5-2 m), existiendo agua libre en ciertas épocas del año. El substrato es estable y en los horizontes superficiales del suelo hay una importante acumulación de materia orgánica. La cubierta herbácea puede ser abundante, destacándose la presencia de Lobelia urens.

La vegetación característica de esta facies está formada por Calluma vulgaris (L.) Hull., Holoschoenus vulgaris Link, Erica scoparia L., Panicum repens L., Imperata cylindrica P.B., Hyparrhenia perfoliata L., y Ulex minor Roth. Las especies arbóreas de los géneros Tamarix, Salix y Populus que podrían instalarse en estos corrales, no lo hacen debido a su destrucción cíclica por los frentes dunares, quedando en este caso los pinos refugiados en las partes más altas de las contradunas, formando estructuras casi lineales.

Si el nivel freático en el corral es más elevado (0-0,5 m) el matorral y los pinos desaparecen siendo sustituidos por vegetación herbácea permanente que ocupa todo el fondo del corral y en la que se destaca Holoschoenus vulgaris Link, Mentha pulegium L., Agrostis stolonifera L., Cotula coronopifolia L., Glyceria fluitans, Hydrocotyle vulgaris L., Eleocharis palustris, y Anagallis tenella (L.).

II. METODOS

II.1 METODO DE CAMPO

En el reconocimiento de suelos se han utilizado fotografías aéreas de escala 1/10.000, delimitándose las diferentes unidades con ayuda de un estereoscopio de espejo.

Una vez realizada la fotointerpretación, se han determinado las unidades definitivas en base a la prospección sobre el terreno a través de una red de sondeos cuya densidad depende de la complejidad del relieve. A partir de dichos sondeos se tomaron tres perfiles representativos de los distintos suelos desarrollados en el área.

Para completar el estudio granulométrico y mineralógico de las arenas, se tomaron además una serie de muestras superficiales (primeros 20 cm) a lo largo de un transecto seleccionado, así mismo, a partir de la fotointerpretación.

Los perfiles fueron descritos siguiendo las normas FAO (1968), muestreados para su estudio y clasificados según el Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975).

II.2 METODOS EXPERIMENTALES

II.2.1 ANALISIS QUIMICOS GENERALES

Preparación de las muestras

Se utilizan muestras de suelos secadas al aire, molidas y pasadas por un tamiz de 2 mm.

Reacción del suelo : (pH)

Se determina con pH-metro en pasta de suelo saturada en agua, repitiéndose con pasta saturada en ClK (Hernando y Sánchez Conte, 1954).

Materia orgánica y Carbono orgánico

Método de Walkley y Black (1934), consistente en la adición de dicromato y sulfúrico, y valoración del exceso de dicromato con SO_4Fe . El carbono orgánico se obtiene multiplicando por un factor constante la diferencia de los volúmenes gastados de SO_4Fe en la muestra, y en un ensayo en blanco que se efectúa paralelamente.

Nitrógeno

Se sigue el método Kjeldahl modificado (Jackson, 1962). La muestra se trata con sulfúrico y con SO_4K_2 y SO_4Cu , valorando el destilado con SO_4H_2 N/14, usando como indicador verde de bromocresol.

Carbonatos

Se realiza con un calcímetro Bernard (Hidalgo y Candela, 1958). Se basa en la medición del volumen de CO_2 desprendido por el suelo al tratarlo con ácido clorhídrico 1:1.

Capacidad y cationes de cambio

En columnas de percolación, se pasan 250 ml de acetato amónico a pH 7.1 a través de 10 gr de suelo. Una vez saturado en NH_4^+ el suelo se lava una vez con agua y cuatro con alcohol etílico, para eliminar el exceso de acetato amónico.

En 1 gr de suelo se determina el NH_4^+ cambiado por destilación en microkjeldahl, expresándose el resultado en miliequivalente por 100 gr.

En los líquidos de percolado, se determinan Na y K por fotometría de llama, y Ca y Mg por absorción atómica (Pelloux y col., 1971).

Hierro total

Consiste en mezclar 0,5 gr de suelo con CO_3Na_2 en un crisol de platino, efectuándose una fusión a 1000°C durante 2 horas. El residuo de la fusión se disuelve en ClH diluido, determinándose el hierro por absorción atómica.

Hierro libre

Se sigue el método de Endredy (1963). Consiste en tratar 0,5 gr de suelo con 100 ml de solución Tamm (solución tampón a pH 3,25 de oxalato amónico-ácido oxálico). La suspensión se expone durante 2 horas a la radiación ultravioleta de una lámpara de vapor de mercurio de 250 w. Una vez obtenida la solución, el hierro se determina por absorción atómica.

Elementos asimilables

Potasio

La extracción se realiza tratando 5 gr de suelo con 50 cc de solución Morgan (acetato sódico-ácido acético). El K se determina por fotometría de llama, expresándose en mg de K_2O /100 gr de suelo.

Calcio y Magnesio

El Ca y Mg se extraen tratando 50 gr de suelo con 150 cc de acetato amónico N a pH 7,1. La determinación se realiza por absorción atómica, expresándose los resultados en mg de Ca o Mg/100 gr de suelo (Jackson, 1962; Pinta, 1971).

Fósforo

Se tratan 2,5 gr de suelo con 250 cc de solución extractora (solución $CO_3Ca/CO_3Mg/CH_3COOH$) a pH 3,2. La suspensión se agita durante 5 minutos y se filtra. En el filtrado se determina el fósforo según el método de Murphy y Riley, 1962.

II.2.2 ANALISIS FISICOS

Análisis mecánico

La composición granulométrica, que se considera como índice de la textura del suelo, se ha determinado siguiendo las normas fundamentales del Método Internacional de Análisis Mecánico, en cuanto a eliminación de materia orgánica y límite de tamaño de las fracciones arena gruesa, arena fina, limo y arcilla.

La materia orgánica se ha eliminado por tratamiento con agua oxigenada de 20 vol.

Como agente dispersante se ha empleado 10 ml de una solución de 37.7 gr de hexametáfosfato sódico y 7.49 gr de carbonato sódico por litro, con una densidad de 1.006.

Se ha utilizado agitados de volteo con velocidad de 70 r.p.m., durante 8 horas.

La fracción arena gruesa se ha separado por tamizado (0,2 mm) previo y de arena fina por decantación, una vez obtenidas las fracciones limo y arcilla. Estas últimas se han determinado con el auxilio de un hidrómetro de cadena, similar al propuesto por De Leenheer y col. (1955), siguiendo la metodología descrita por sus autores.

A las partículas del suelo, se las ha clasificado en cuanto a tamaño según la Escala Internacional:

Arena gruesa	2 a 0,2 mm
Arena fina	0,2 a 0,02 mm
Limo	0,02 a 0,002 mm
Arcilla	menor de 0,002 mm

Granulometría de arenas

Después de haber obtenido los porcentajes de partículas de acuerdo a la Escala Internacional, y observada la homogeneidad de los resultados, se ha realizado un segundo fraccionamiento de las arenas según la escala del U.S.D.A.

2,00 - 1,00 mm	Arenas muy gruesas
1,00 - 0,50 mm	Arenas gruesas
0,50 - 0,25 mm	Arenas medias
0,25 - 0,10 mm	Arenas finas
0,10 - 0,05 mm	Arenas muy finas

Se han utilizado 100 gr de arena, tamices y vibrador C.I.S.A., con una intensidad de 8 y un tiempo de aplicación de 10 minutos.

II.2.3 ANALISIS MINERALOGICO DE ARENA

Técnica de preparación de la arena

El fundamento del método está en obtener granos minerales perfectamente limpios para facilitar su observación e identificación con el microscopio petrográfico.

a) Primeras operaciones

1º. Se toman 20 gr de la muestra de suelo y se eliminan por decantación los elementos finos (menores de 0,02 mm) que dificultarían la identificación de los minerales de la arena. El tiempo de decantación viene marcado por la ley de Stokes (4' 48", 10 cm), repitiéndose la operación hasta conseguir la completa transparencia de la suspensión.

Una vez eliminada la fracción fina (limo y arcilla) la muestra se trata con H_2O_2 al 10 %, se seca a estufa a 105°C y se pesa.

La muestra así obtenida se tamiza por malla de 0,2 mm de luz, separándose de esta forma la fracción arena fina (Escala Internacional).

2º. Se trata esa cantidad por ácido clorhídrico al 10 por 100 en frío, siendo suficiente el ataque de media hora. (Por este tratamiento se eliminan los carbonatos y los hidróxidos de hierro que con tanta frecuencia recubren los granos minerales enmascarando sus características y propiedades ópticas).

Este paso debe realizarse bajo campana de gases.

3º. Nuevo lavado con agua seguido de su desecación en la estufa o baño de arena entre los 105° - 110° C, volviendo a pesarse la muestra (segunda pesada). La pérdida de peso nos da la cantidad de carbonatos e hidróxidos de hierro atacados.

4º. Se prosigue con un tratamiento por ditionito de sodio al 5 por 100 durante media hora en caliente, y bajo campana de gases. (Los óxidos e hidróxidos de hierro que pudieran existir serán atacados, así como los sulfuros metálicos).

5º. Ultimo lavado con agua hasta neutralización y secado en la estufa o baño de arena, volviendo a pesar el resto (tercera pesada).

Así se llega a obtener arena limpia y dispuesta para su tratamiento por un líquido denso que permita su separación en las dos fracciones "pesada" y "ligera".

El tratamiento por ácidos tiene el inconveniente de que se eliminan ciertos minerales poco estables, como podrían ser: el apatito y el olivino (aparte de los carbonatos, que son los principalmente atacados); pero, en la mayoría de los casos, no es fácil llevar a cabo una identificación de minerales en el microscopio sin un tratamiento adecuado con ácidos debido a la fuerte incrustación en óxidos de hierro e hidróxidos y

carbonatos que recubren los granos minerales, debido a eso es aconsejable este tratamiento cuando existe dicha rubeficación. Por ello se ha guardado la fracción para el estudio de carbonatos.

Cuando se posee arena obtenida mediante el análisis mecánico convencional, usado para determinar la composición granulométrica del suelo, el tratamiento se comienza en a.

b) Separación de fracciones

Entre los líquidos densos que se utilizan, el bromoformo es el más empleado; su peso específico 2,9 (2,88 a los 18°C).

6º. Se procede vertiendo sobre el embudo separador provisto de llave (Fig. 2) el bromoformo hasta la mitad del embudo, dejando caer sobre él la arena limpia, agitándola en el seno del bromoformo, con varilla de vidrio, y movimiento circulante. Se deja en reposo hasta que los minerales de peso específico superior al del bromoformo se depositen sobre la llave perforada, y abriendo ésta, los minerales "densos" o "pesados" caen en la pequeña cápsula colocada al efecto. (Esta operación hay que ejecutarla con la suficiente rapidez para que no sean arrastrados los minerales de la fracción ligera y se mezclen con los "pesados"). El tratamiento por el bromoformo se suspende cuando ya no se sedimente ningún grano.

La fracción "pesada" recogida en la pequeña cápsula es lavada con alcohol limpio contenido en un frasco lavador y se seca a la temperatura ambiente, quedando dispuesta para el montaje de preparaciones.

La fracción "ligera" es lavada también con alcohol sobre el mismo embudo separador, abriendo después la llave para que caiga el

resíduo "ligero" junto con el bromoformo + alcohol a un embudo con filtro colocado debajo del separador; la mezcla de bromoformo + alcohol se recoge en un frasco de color o vidrio topacio, quedando sobre el papel de filtro el material ligero, que se depositará en una cápsula para secar en estufa a 105°C .

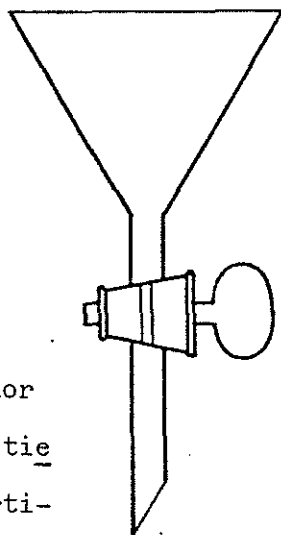


Fig. 2. Embudo separador
cuyas paredes tie
nen con la verti-
cal una inclinación
de 30° .

7º. Obtenida la separación de las fracciones "ligera" y "pesada", se pesa la más abundante y se halla el peso de la otra por diferencia, obteniéndose así la relación en que se encuentran ambas fracciones o, para mayor exactitud, se pesa cada una independientemente. Todos estos datos gravimétricos se consignan en una tabla como la que se expone a continuación.

También suelen emplearse en vez de embudos como los descritos, copas de separación, cuyo fundamento es el mismo, si bien la técnica de manejo presenta algunas diferencias sobre lo indicado.

TABLA

PREPARACION DEL MATERIAL				SEPARACION POR FRACCIONES	
Número de la muestra	Arena lavada y tamizada, peso inicial en gr	Tratamiento por:		Tratamiento por bromoformo	
		HCL, peso en gr	Ditionito de sodio, peso en gr	Fracción "ligera", peso	Fracción "pesada", peso
	(P ₁)	(P ₂)		(P ₃)	(P ₄)

c) Montaje de preparaciones

Para el estudio al microscopio petrográfico de la arena ya separada en sus dos fracciones, se procede al montaje entre "porta" y "cubre" de los granos minerales incluidos en un medio diáfano.

Como medios diáfanos de inclusión para las separaciones fijas se utilizan el bálsamo de Canadá y la piperina. Si se utiliza el primero se procede dejando caer con la ayuda de un pincel los granos minerales sobre una gota de bálsamo colocada sobre un portaobjetos, distribuyendo con una aguja enmangada dichos granos; esto se hace sobre la placa eléctrica, esperando hasta que el bálsamo haya adquirido la consistencia necesaria para que quede bien fija la preparación al colocar el cubreobjetos. Este endurecimiento se debe a la evaporación del xilol del bálsamo y se comprueba cuando tomando una pequeña cantidad del mismo con la punta de la aguja y rodándola entre los dedos pueda hacerse una pequeña bola sin pegajosidad quedando dura al enfriarse. La temperatura de la placa debe ser de 120° a 130° C.

Una vez cubierta, la preparación se retira de la placa y se deja enfriar; en esta operación ha de procurarse que no queden burbujas, y si los bordes del "cubre" quedasen con un reborde excesivo de bálsamo, pueden limpiarse con xilol en frío.

Si el medio de inclusión fuera la piperina, se procede triturando los cristales de este alcaloide y colocando el polvillo obtenido sobre un "porta", mezclándolo bien con los granos minerales sobre la placa eléctrica; funde la piperina y quedan incluidos en ella los granos sobre los que se deja caer el cubreobjetos, procediendo en lo demás como en el caso del bálsamo.

Estas dos técnicas en el montaje de preparaciones se aplican más para los minerales "densos", pues las fracciones "ligeras" suelen estudiarse en preparaciones volantes, incluyendo los granos minerales simplemente en nitrobenzol o en otras mezclas como la de nitrobenzol y clorobenzol en las proporciones de 10,5 : 4 c.c. y la de nitrobenzol y aceite de oliva puro en la proporción de volúmenes 9,5 : 1.

En el presente trabajo se ha utilizado como medio diáfano de inclusión, el bálsamo de Canadá.

Estudio de las preparaciones

Se emplea un microscopio petrográfico Zeiss standard G.A. con luz transmitida e incidente.

El estudio de las fracciones "pesada" y "ligera" que constituye la arena puede hacerse cualitativamente y cuantitativamente en función del objetivo de la investigación. El estudio cualitativo se basa en la identificación de las especies minerales e incluso se puede dar un coeficiente aproximado de frecuencia, como por ejemplo el de la escala de Tyler y Marden[±], mientras que el cuantitativo da porcentajes muy aproximados de los minerales, representando la composición para cada una de las fracciones que se estudian.

* Escala de Tyler y Marden, para un coeficiente aproximado de frecuencia:

dd = predominante	75 - 100	por 100
d = dominante	50 - 75	" "
a = abundante	25 - 50	" "
c = común	10 - 25	" "
p = presente	5 - 10	" "
r = raro	1 - 5	" "
t = trazas	inferior a 1 por 100	
- = no hallado		

Fracción "pesada".- Su estudio al microscopio se reduce a la identificación de especies minerales y recuento de granos. El conteo se efectúa en línea, teniendo en cuenta los granos minerales que pasan por el cruce de los hilos del retículo. Así se recorre la preparación en zigzag, espaciando cada línea medio milímetro, lo que se efectúa con el micrómetro de la rama vertical del carro o conductor de objetos fijos a la platina del microscopio. El recuento se lleva a cabo hasta alcanzar 100 granos minerales transparentes. Existen diferentes criterios de conteos, según la finalidad del trabajo. Así, cuando se trata de arenas no homogéneas, el conteo de los granos minerales transparentes debe ser superior a 100. Por otra parte, Leiz dió el número de 400 granos contados y otros autores como J. Pérez Mateos toma el valor de 200, y 300 para materiales de composición mineralógica heterogénea. Puede también calcularse el porcentaje en función de un área arbitrariamente escogida, contándose todos los granos minerales incluidos en ella.

Los minerales opacos se encuentran en bloque y se dá su número por cada cien especies minerales transparentes contados. En este trabajo el conteo de opacos se realizó sobre todo en el campo del microscopio, y expresando su porcentaje sobre el total de minerales (transparentes y opacos).

Con los resultados obtenidos se construyen gráficas y tablas que facilitan la interpretación posterior.

Fracción "ligera".- El cuarzo y el feldespato son los componentes casi exclusivos de la fracción "ligera", por tanto el método desarrollado permite una determinación rápida de los mismos, pudiendo dar sus porcentajes aproximados entre sí.

Se incluyen los granos minerales "ligeros" en un líquido cuyo índice de refracción está en equilibrio con el ordinario del cuarzo. En estas condiciones los granos de cuarzo aparecen poco visibles, destacando los de feldespatos. Se emplea como medio de inclusión una mezcla de nitrobenzol y clorobenzol en proporciones calculadas (5,25 c.c. de nitrobenzol y 2 c.c. de clorobenzol). El índice de refracción podría comprobarse por un refractómetro.

La preparación así montada se coloca sin cubrir bajo el objetivo del microscopio petrográfico y se sigue la siguiente marcha:

- 1º.- Se introduce el analizador, con lo cual todos los granos minerales aparecen visibles y se cuentan todos los del campo del microscopio o los de un cuadrante.
- 2º.- Se saca el analizador, quedando los granos de cuarzo casi invisibles. Esto permite el conteo de los granos de feldespato y por diferencia obtener los de cuarzo.

3º.- Los resultados se expresan en porcentajes.

Este análisis de la fracción "ligera" puede considerarse semi-cuantitativo, por ser solamente aproximados los porcentajes. Para mayor exactitud pueden hacerse varios recuentos en diferentes campos de la preparación observada al microscopio y hallar la media.

(La mezcla de nitrobenzol y clorobenzol debe guardarse en frascos de color topacio para evitar la acción de la luz).

En el reconocimiento de los granos minerales "ligeros" y utilizando el método de iluminación oblicua de Van der Kolk con fuerte luz blanca, aparecen los granos de cuarzo con el borde coloreado de rojo a la derecha y azulado en el lado opuesto, debido a fenómenos de dispersión que se acusan cuando varía el índice de refracción del líquido con la temperatura. Los feldespatos se destacan con el borde oscuro a la derecha y brillante en el lado opuesto. (Todo esto introduciendo la cartulina negra por la derecha).

Para la diferenciación del cuarzo y los feldespatos, existen técnicas de teñido selectivo, las cuales no son muy practicadas, y por ello nos limitaremos a mencionarlas. Entre ellas se pueden citar la de A. Gabriel y E.P. Cox; una modificación moderna de la citada anteriormente es la realizada por W.D. Keller y Chuen Pu Ting, así como la técnica llevada a cabo por T. Aleixandre y A. Pinilla. Todas ellas basadas en la coloración de los feldespatos provocada por la acción del Fluorhídrico y cobalnitrito sódico, contribuyendo en dicha coloración otros agentes químicos, como por ej.: el verde de malaquita, la hematina, etc.

Identificación de los minerales

La preparación montada y colocada sobre la platina del microscopio petrográfico se examina con el objetivo de poco aumento (2,5 x), desplazándola en todos los sentidos para tener una visión de conjunto de la fracción que se estudia. Colocada después en una posición de comienzo, se inicia el estudio de los granos minerales, desplazando suavemente la preparación en sentido horizontal y observando cada grano mineral de los que van pasando por el cruce de los hilos del retículo, utilizando sucesivamente objetivos de mayor aumento si para la identificación del grano mineral fuese necesario.

La observación de cada grano mineral se hace con luz paralela, con nicoles cruzados y con luz convergente.

Con luz polarizada paralela se observa la forma, color, pleocroismo, exfoliación, relieve en función del índice de refracción, fractura y brillo. Se hace uso del condensador cuando los minerales son de coloración intensa, como ciertos rutilos, o están oscurecidos por inclusiones, como algunas anatasas, estaurolitas, etc.

Con nicoles cruzados se observa la isotropía y la anisotropía, birrefringencia, extinción, medida de ángulos de extinción y signo de elongación.

Con luz convergente (observación conoscópica y con objetivos de mayor aumento se determina la uniaxialidad o biaxialidad de los minerales por las figuras de interferencia, el signo óptico, dispersión y medida del ángulo $2V$ o de los ejes ópticos (Esquema 1).

El conocimiento de estos datos aplicados lleva a la identificación de la especie mineral. En caso de duda entre minerales parecidos,

Esquema 1

I. Observaciones generales con luz ordinaria:

- Incidente o por reflexión { Color
Brillo
- Transmitida o transparencia o refractada { Color
Forma o "hábito"
- a) Medida de ángulos
- b) Determinación del índice de refracción: Línea de Becke (gran aumento y luz convergente)
- c) Medición de longitudes.

II. Observaciones con luz polarizada:

- a) Con luz polarizada paralela {
 - Isotropía o anisotropía.
 - Índice de refracción.
 - Contorno del cristal y grietas de exfoliación.
 - Direcciones de extinción.
 - Det. de rayos rápidos y lentos.
 - Colores de interferencia. Birrefringencia.
 - Pleocroísmo.
- b) Con luz polarizada convergente {
 - Figuras uniáxicas o biáxicas (fig. de interferencia). Orientación.
 - Anotar tamaño del ángulo óptico si es biáxica.
 - Carácter + o - .
 - Doble refracción.
 - Dispersión.
 - Rotación óptica.
 - Sistemas cristalinos.

la comparación de los caracteres particulares de ambos minerales permitirá su identificación. En ocasiones especiales hay que recurrir a otros métodos, siendo el mejor auxiliar el análisis espectroquímico (si se puede obtener una pequeña concentración del mineral problema). Así, en el caso de granos redondeados o rodados en los que la forma cristalina no es reconocible, la presencia de una determinada raya en el espectrograma definiría la especie mineral. (Esto puede también observarse con un espectroscopio adaptado al microscopio). Como ensayos auxiliares de utilidad podrían considerarse: la coloración a la llama (si puede concentrarse un número de granos), coloración de perlas y ciertos ensayos microquímicos.

La identificación de los minerales por medio de la refracción, a partir de una serie de líquidos de índices de refracción conocidos y de mezclas de éstos, no es un método suficiente en modo alguno, aparte de las dificultades que ofrece su lentitud e incomodidad. En la actualidad sólo se utilizan normalmente este método en casos de comprobación o identificación de algún mineral problema.

Tampoco se recomienda el peso específico para determinación de las especies minerales, ya que en ocasiones puede oscilar grandemente por la influencia de impurezas, inclusiones, etc.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES
Y DISCUSION

III.1 CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS Y MINERALOGICAS DEL AREA DE ESTUDIO

III.1.1 CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS

Muestras superficiales del transecto

En la tabla 2 se exponen los resultados del fraccionamiento de arenas según la Escala Internacional.

Puede observarse que existe un fuerte predominio de las arenas gruesas sobre las finas, lo que motiva una gran uniformidad granulométrica en las distintas muestras. Las pequeñas diferencias observables están más ligadas a la topografía de la zona que a la distancia de la playa (origen de las arenas). En efecto, las muestras ^{os}n^{os} 4, 6, 8, 13a, que presentan los más altos contenidos en arenas finas corresponden a zonas deprimidas, donde el desarrollo de la vegetación es más importante, favoreciendo una mayor acumulación de material fino.

TABLA 2. Fraccionamiento de arenas y separación de ligeros y pesados.

Muestra Nº	Ubicación	Prof. cm	Escala Internacional						Escala U.S.D.A.			
			Ar. G. %	% Ar. G./ \bar{X}	Ar. F. %	Fr. lig. %	Fr. pes. %	Pesados/ fr. fina	Ar. G. %	Ar. M. %	% Ar. M. / \bar{X}	Ar. F. %
1	Línea de playa	0-20	91,7	1,03	8,3	97,5	2,5	0,30	5,1	73,9	1,04	21,0
2	Cordón dunar	0-20	91,2	1,03	8,8	91,1	8,9	1,01	1,1	76,4	1,08	22,5
3	Cordón dunar	0-20	89,6	1,01	10,3	86,4	13,6	1,32	2,4	71,4	1,01	26,2
4	Contraduna	0-20	86,8	0,98	13,2	86,9	13,1	0,99	1,6	65,7	0,93	32,7
5	Cordón dunar	0-20	94,8	1,07	5,2	75,4	24,6	4,73	1,9	80,3	1,13	17,8
6	Corral	0-20	79,7	0,90	20,3	90,2	9,8	0,48	0,9	54,9	0,77	44,1
7 a	Cordón dunar	0-20	90,7	1,02	9,3	63,0	37,0	3,98	1,1	74,7	1,05	24,1
8	Punta avance	0-20	84,8	0,95	15,2	93,4	6,6	0,42	0,1	55,7	0,79	44,2
9 a2	Corral largo	2-7	90,3	1,02	9,6	80,9	19,1	1,99	3,1	72,6	1,02	24,2
9 b	Corral largo	7-20	89,4	1,01	10,6	89,2	10,8	1,02	1,3	67,4	0,95	31,3
10	Cordón dunar	0-20	90,2	1,01	9,7	56,7	43,3	4,46	1,3	76,5	1,08	22,2
11	Cordón dunar	0-20	90,1	1,01	9,8	63,2	36,8	3,76	2,0	76,0	1,07	22,1
12 a	Gusano alto	0-15	90,9	1,02	9,1	65,2	34,8	3,87	1,3	76,9	1,08	21,9
13 a	Gusano bajo	0-13	83,0	0,93	16,9	64,7	35,2	2,08	1,7	65,3	0,92	33,0
14 a	Cordón dunar	0-20	85,7	0,97	15,3	71,8	28,2	1,84	0,9	71,9	1,01	27,3
Media			88,5							70,8		

Excepción a esta hipótesis son las muestras superficiales del Corral Largo (n^{os} 9a2 y 9b), cuyos valores de arenas gruesas son similares a los de altos de duna. Esta circunstancia puede atribuirse a la proximidad del frente más alto de dunas del área estudiada, cuya composición granulométrica es prácticamente igual.

Como se ha expuesto anteriormente no existe una distribución de las fracciones finas y gruesas (menor de 0,2 mm y mayor de 0,2 mm, respectivamente), en función de la distancia. Sólo la muestra más alejada de la playa (nº 14a) presenta un ligero descenso del porcentaje de arena gruesa.

Debido a esta homogeneidad granulométrica de las muestras, se ha realizado una separación en base a la escala del U.S.D.A.

En la tabla 2 se recogen los datos correspondientes a las distintas fracciones de dicha escala.

Los tamaños mayores de 1 mm y menores de 0,1 mm no existen en ninguna muestra, esto es, no hay arenas muy gruesas ni muy finas.

Los valores de arenas gruesas son muy pequeños, correspondiendo el más alto a la muestra de playa con un 5,1 %, que disminuye hacia el interior con valores que oscilan, en general, entre 1 y 2 %.

La fracción más importante corresponde a la comprendida entre 0,25 y 0,50 mm (arenas medias) con un valor medio de 70,9 %. Estos altos porcentajes hacen que la variación entre las distintas muestras no sea similar a la observada en la columna de arenas gruesas según la Escala Internacional (mayor de 0,2 mm), como puede comprobarse comparando los coeficientes de los valores de ambas columnas con su media respectiva.

De todas formas, hay que resaltar la significativa variación que se presenta en las muestras 6 y 8. En efecto, en ambas, la razón de sus valores con la media es apreciablemente más baja en el tamaño 0,25-0,50 mm. Esto quiere decir que la fracción arena fina es más importante en estas muestras (44,1 y 44,2 % respectivamente).

Esta circunstancia está justificada en la muestra nº 6, debido a la mayor cobertura vegetal del Corral, como se ha indicado anteriormente. En la muestra nº 8 se justifica por la acción del viento que debido a la altura de la duna a que pertenece, forma corrientes en remolinos que enriquece la punta de avance en material fino (Hoyt, 1966).

De todo lo anteriormente expuesto, se observa una gran homogeneidad en cuanto al tamaño del grano, hasta el punto de que la distribución está más en función a la topografía que a la distancia del transecto. Por ello, se han separado en la fracción arena fina (Escala Internacional) los minerales ligeros de los pesados.

La muestra nº 1 (playa), origen del transecto, presenta el valor más bajo de minerales pesados (2,5 %). Hacia el interior aumenta el porcentaje hasta superar el 35 % en los altos de dunas interiores. Este aumento en pesados no se acompaña, sin embargo, con otro paralelo de la fracción fina (0,2-0,02 mm), lo cual indica que la influencia del viento es mucho más importante sobre los minerales ligeros, dentro de la distancia del transecto (aproximadamente 4,5 Km).

Esta circunstancia se aprecia de forma más clara en la razón pesados/fracción fina. Así, en la playa, dicha razón tiene un valor mínimo de 0,3 que aumenta ligeramente (aproximadamente 1) en los cordones litorales, abiertos a la acción del viento. La razón aumenta

bruscamente a 4-5 en los cordones internos debido a la presencia de corrales con un desarrollo importante de la vegetación, así como a la mayor influencia del viento en los altos de dunas.

Puede observarse en el primer corral (muestra nº 6) la razón baja a 0,48 como consecuencia de un aumento de la fracción fina, comentado anteriormente, en la que los ligeros, por influencia de la vegetación, son retenidos con preferencia a los altos de dunas.

En la punta del cordón dunar interno más importante (muestra nº 8), el valor de la razón disminuye a 0,42 como consecuencia del efecto remolino (Hoyt, 1966). Este mismo efecto hace que las muestras superficiales del Corral Largo (9a2, 9b), aunque disminuyen igualmente, no lo hacen con la misma intensidad que el corral más próximo a la playa (muestra nº 6).

Más hacia el interior, las muestras de altos de dunas tienen unos valores semejantes (4,46; 3,76; 3,82) a los de los cordones internos ya comentados.

Finalmente, la muestra más alejada, presenta un descenso en esta razón que es debido a la distancia de la línea de costa (1.84, muestra nº 14a).

En resumen, puede afirmarse que debido a la homogeneidad de los tamaños de las arenas, en la distribución de las mismas en el transecto tiene mayor incidencia la fracción de minerales pesados. La razón pesados/fracción fina parece que permite separar los cordones litorales de los internos.

Estas aparentes relaciones granulométricas con las diferencias geomorfológicas podrían resaltarse agrupando las muestras según las subunidades a las que pertenecen.

Subunidades

En la tabla 3 se recogen los datos del análisis granulométrico de arenas (Escala Internacional), el porcentaje de pesados en las arenas finas, su razón respecto a éstas y la razón ligeros/pesados en la misma fracción.

Las muestras se agrupan según las subunidades geomorfológicas que pueden diferenciarse dentro de las arenas móviles: tren de dunas litorales, tren de dunas interno, corrales y área de contradunas próximas a la laguna Santa Olalla ("Gusanos"), además de la línea de playa (muestra nº 1).

El origen de todas las arenas está en la erosión marina del farallón costero Villafranquiense. Por ello, se estudia la muestra nº 1 independientemente de las demás como material formador de los diferentes cordones dunares.

Como se ha indicado, no existen grandes diferencias en los contenidos en arenas gruesas y finas (Escala Internacional) entre esta muestra nº 1 y las demás. Sin embargo, sí se distinguen claramente en cuanto a los porcentajes de minerales ligeros y pesados. Así, las razones pesados/fracción fina y ligeros/pesados son marcadamente más baja y más alta respectivamente. Esto es, el contenido en minerales pesados en la línea de playa es muy bajo, creciendo hacia el interior.

En efecto, los primeros cordones litorales muestran aumentos de minerales pesados, pasando de 2,5 % en la playa a valores comprendidos entre 9 y 13 %. Paralelamente, la razón pesados/arenas finas crece desde 0,3 a 1-1,3 al mismo tiempo que el coeficiente ligeros/pesados disminuye desde 39,0 a 10,2 en el cordón más cercano a la línea de costa y a 6,4 en el segundo cordón.

TABLA 3. Subunidades. Fraccionamiento de arenas y separación Ligeros-Pesados.

Subunidad	Muestra Nº	Prof. cm	Arenas gruesas 2-0,2 mm %	Arenas finas 0,2-0,02 mm %	Min. Pesados %	Pesados/ Ar. finas	Ligeros/ pesados
Línea Playa	1	0-20	91,7	8,3	2,5	0,3	39,0
Tren Lito- ral	2	0-20	91,2	8,8	8,9	1,0	10,2
	3	0-20	89,6	10,3	13,6	1,3	6,4
	4	0-20	86,8	13,2	13,1	1,0	6,6
Tren Inter- no	5	0-20	94,8	5,2	24,6	4,7	3,1
	7 a	0-20	90,7	9,3	37,0	4,0	1,7
	7 b	60-80	92,5	7,5	35,6	4,7	1,8
	8	0-20	84,8	15,2	6,6	0,4	14,1
	10	0-20	90,2	9,8	43,3	4,4	1,3
	11	0-20	90,1	9,8	36,8	3,7	1,7
	14 a	0-20	85,7	15,3	28,2	1,8	2,5
Corrales	6	0-20	79,7	20,3	9,8	0,5	9,2
	9 b	7-20	89,4	10,6	10,8	1,0	8,2
Area de	12 a	0-15	90,9	9,1	34,8	3,8	1,9
Contradunas	12 b	15-50	84,1	15,8	59,4	3,8	0,7
	13 a	0-15	83,0	16,9	35,2	2,1	1,8
	13 b	15-30	81,4	18,6	41,4	2,2	1,4

Al pasar a la subunidad tren dunar interno, se acentúa el aumento de la razón pesados/arenas finas (valores superiores a 4) y el descenso de la relación ligeros/pesados, que llega a ser inferior a 2. Estas cifras están de acuerdo con un enriquecimiento relativo en minerales pesados en la dirección de avance de los frentes dunares, lo cual habría que relacionarlo con la movilidad diferencial de la arena en función de sus densidades. Basándose en esta hipótesis, cabe esperar en un transecto más largo un predominio de minerales ligeros en los puntos más alejados.

Dentro del grupo de muestras correspondientes a trenes internos, hay que resaltar los datos de la muestra nº 8 (punta de avance), cuyos valores se alejan notablemente, como ya se ha explicado en el comentario del contenido en arenas finas y razón pesados/arenas finas.

Más hacia el interior la subunidad "Gusanos" presenta valores similares a los anteriores, como corresponde a una estructura geomorfológica de similar origen. En ella, las zonas más alejadas (muestras ^{os} n° 12a y 12b) presentan valores más altos de la razón pesados/arenas finas (3,8) que las más deprimidas (2,2), debido a la mayor humedad de estas últimas capaces de retener más fuertemente los minerales ligeros.

Finalmente, la cuarta subunidad es, asimismo, diferenciable en función a los valores de las razones que se recogen en la tabla 3. Las muestras ^{os} n° 6 y 9b representan los dos tipos característicos de corrales en función a su mayor o menor humedad. En cualquier caso, el origen del mayor contenido en minerales ligeros de la fracción fina se atribuye a la importancia de la cobertura vegetal. Los valores de la razón pesados/arenas finas son bajos (0,5-1), así como relativamente altos los de la relación ligeros/pesados.

En resumen, de lo anteriormente expuesto se deduce que, si bien existe una relativa homogeneidad granulométrica entre todas las subunidades, pueden diferenciarse éstas en función a la uniformidad de los valores de las razones pesados/arenas finas y ligeros/pesados dentro de las muestras correspondientes a cada una de ellas.

Perfiles

De igual forma se han determinado las características granulométricas de los perfiles seleccionados dentro del área de arenas móviles estudiada (tabla 4).

Puede observarse que existe una gran uniformidad granulométrica, no sólo entre los perfiles sino también entre los diferentes horizontes de cada uno de ellos. En efecto, en cuanto a la separación de arenas, según el Método Internacional, sólo cabe resaltar un ligero aumento en la fracción fina de los perfiles situados en zonas más deprimidas, de forma más acusada en el perfil "Gusano Bajo".

Según la separación por la escala del U.S.D.A., puede observarse una variación aleatoria del reparto de tamaños en la profundidad de los perfiles, resaltándose sólo un mayor contenido de la fracción más fina (menor de 0,25 mm) en los perfiles que tienen el nivel freático más superficial. Esta mayor humedad podría ser la causa del ligero incremento en materiales finos. Asimismo, sería el motivo de la mayor acumulación de minerales ligeros en el perfil ubicado en el Corral Largo, donde, además de mayor humedad, existe un desarrollo importante de la vegetación.

Donde existen diferencia significativas es en las relaciones pesados/arenas finas y ligeros/pesados. Respecto a la prime-

TABLA 4. Perfiles. Fraccionamiento de Arenas. Separación de Ligeros-Pesados y Razones.

Perfil	Muestra N ^a	Horiz.	Prof. cm	Ar. Fina 0,2-0,02 mm	Ar. Gruesa 1-0,5 mm	Ar. Media 0,5-0,25 mm	Ar. Fina 0,25-0,1 mm	Ligeros %	Pesados %	Pesados/ Ar. fina	Ligeros/ pesados	Q/F
Alto	7 a	A	0-20	9,3	1,1	74,7	24,1	63,0	37,0	4,0	1,7	6,4
Duna	7 b	C	60-80	7,5	2,1	77,5	20,4	64,3	35,6	4,7	1,8	5,5
Gusano Alto	12 a	A ₁	0-15	9,1	1,3	76,9	21,9	65,2	34,8	3,8	1,9	3,2
	12 b	C _{1g}	15-50	15,8	1,0	70,2	28,8	40,5	59,4	3,7	0,7	3,0
	12 c	C _{2g}	50-70	9,0	1,8	80,3	17,9	49,1	50,9	5,7	1,0	3,0
	12 d	C _{3g}	70 +	10,7	1,7	73,6	24,7	57,1	42,8	4,0	1,3	4,6
Gusano Bajo	13 a	A ₁	0-15	16,9	1,7	65,2	33,0	64,7	35,2	2,1	1,8	5,1
	13 b	AGo	15-30	18,6	1,9	67,8	30,3	58,6	41,4	3,2	1,4	3,8
	13 c	Go	30-60	16,8	0,8	68,0	31,2	49,9	50,1	3,0	1,0	5,5
	13 c	Gr	60 +	18,2	0,4	62,6	37,0	60,5	39,5	2,1	1,5	3,2
Corral Largo	9 a2	A ₁₂	2-7	9,6	3,1	72,6	24,2	80,9	19,1	2,0	4,2	4,8
	9 b	C _{1g}	7-20	10,6	1,3	67,4	31,3	89,2	10,8	1,0	8,2	5,7
	9 c	C _{2g}	20-65	14,4	1,9	64,8	33,2	78,7	21,3	1,5	3,7	5,7
	9 d	C ₅	65 +	10,5	1,5	65,6	32,9	87,3	12,7	1,2	6,9	5,4

Q = Cuarzo

F = Feldespatos

ra se observa una disminución desde el perfil situado en cotas más altas hasta el perfil ubicado en situación de mayor depresión. Respecto a la segunda, sólo cabe resaltar los valores marcadamente más altos de los horizontes del perfil Corral Largo, cuya explicación está de acuerdo con la dada anteriormente.

Sin embargo, no existe ninguna secuencia de variación entre los horizontes de cada perfil como tampoco lo existe entre los tamaños granulométricos ya comentados.

En resumen, las características granulométricas de los perfiles siguen la misma tónica de variación que se observa entre todas las muestras del área estudiada, comentadas con anterioridad. Sin embargo, dentro de cada perfil, no existe ninguna secuencia de variación entre los distintos horizontes. Esto es, la deposición de arena viene condicionada por la variación de la intensidad del viento y por la topografía del área. La juventud de los perfiles de suelo, impide que los procesos edáficos hayan tenido apenas influencia sobre la distribución de los contenidos en las distintas fracciones y la posible alteración de los minerales que la componen.

III.1.2 CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

Area de estudio

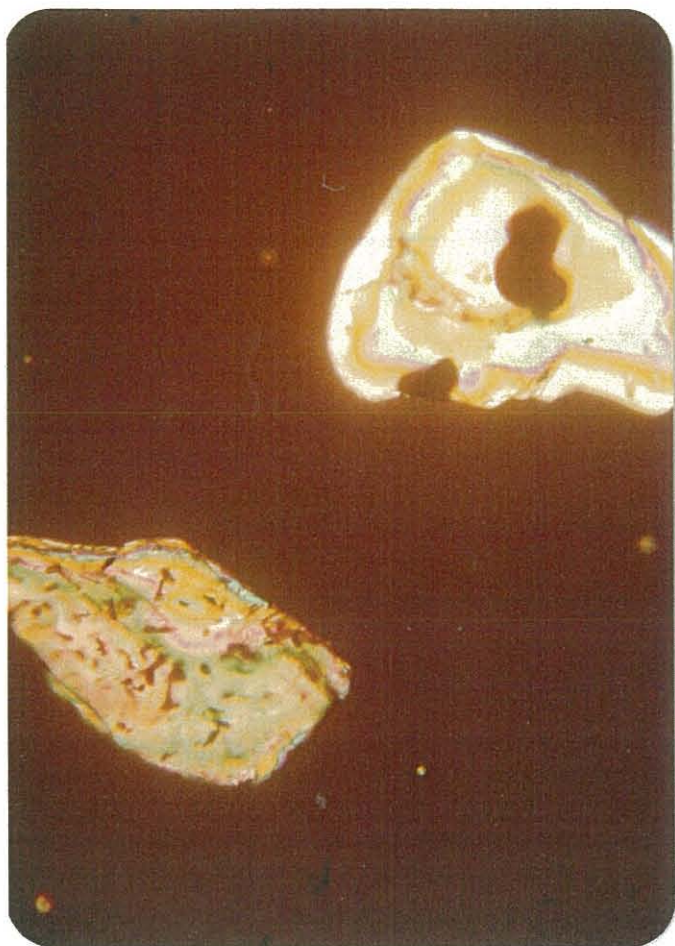
Continuando con el estudio de arenas del área de trabajo se expone, en las tablas 5 y 6, los resultados del análisis mineralógico de muestras superficiales de cada subunidad.

TABLA 5. Distribución porcentual de minerales en base a recuentos
(0,2 - 0,02 mm).

Minerales	Muestra N°							
	1	2	5	7 a	8	9 b	12 a	13 a
Cuarzo	92,9	86,5	87,8	86,5	83,9	85,1	75,9	83,6
Feldespatos	7,1	13,5	12,2	13,5	16,0	14,9	24,1	16,4
Andalucita	22,5	23,1	24,4	7,6	24,7	23,1	12,3	5,4
Circón	0,0	0,7	0,8	4,1	0,3	2,0	3,4	6,0
Distena	2,1	2,3	3,1	1,4	2,6	0,0	3,0	1,1
Epidota	8,2	6,7	10,2	1,7	6,7	5,3	8,0	6,5
Estaurolita	0,5	1,7	0,4	2,9	2,3	2,1	2,4	2,1
Granate	1,6	2,4	2,7	2,2	2,6	2,1	2,7	4,2
Hiperstena	6,6	4,4	1,9	1,5	0,3	0,0	1,8	0,7
Hornblenda	1,1	0,0	0,0	1,0	0,3	0,5	0,2	0,0
Rutilo	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	1,0	0,6	1,1
Silimanita	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5	1,0	0,5
Titanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0
Turmalina	20,2	26,8	25,3	4,8	20,3	18,8	13,6	5,8
Micas	2,2	0,3	0,4	0,5	1,3	0,0	0,7	0,0
Opacos	15,3	28,8	26,0	69,7	33,0	40,0	48,4	64,0
Fragmentos	19,6	3,3	4,7	1,4	3,7	4,3	1,6	1,8

TABLA 6. Distribución semicuantitativa de minerales opacos (Escala de Tyler y Marden).

Minerales	Muestra N°							
	1	2	5	7a	8	9b	12a	13a
Ilmenita	dd	dd	dd	dd	dd	d	d	d
Magnetita	r	r	r	r	r	r	r-t	r
Leucoxeno	r	p	r	p-r	p-r	c	p	p
Oxidos e hidróxidos	t	t	t	t	t	t	t	r-t



ANDALUCITA. Nicole's X



TURMALINA. Nicole's =



EPIDOTA. Nicoles =



CIRCON. Nicoles X



Opacos

Línea de Playa y Tren Litoral (muestras n^{os} 1 y 2)

Fracción ligera:

=====

En ambas muestras se observa un predominio de cristales de cuarzo subangulares y subredondeados, alcanzando porcentajes del 93% en la muestra nº 1. El contenido en feldespatos, por tanto, es escaso.

Fracción pesada:

=====

En los minerales densos transparentes de la muestra de Línea de Playa se define la asociación Andalucita-Turmalina-Epidota, acompañada por cristales de Hiperstena, Distena y Granate, en pequeños porcentajes, y otros minerales en menor cantidad.

Los opacos son importantes pero no llegan a ser mayoría, en ellos se destaca una abundancia marcada de opacos naturales (dominando netamente la Ilmenita sobre la Magnetita), con respecto a los de alteración. Entre estos predominan los Leucoxenos sobre los óxidos e hidróxidos de hierro.

La muestra nº 2, correspondiente al Tren Litoral, presenta la asociación Turmalina-Andalucita-Epidota, acompañada por cristales de Hiperstena y escasos granos de Distena, Granate y otros minerales en menor cantidad.

Los opacos son más importantes que en la muestra anterior, predominando los opacos naturales (mayoría de Ilmenita y escasos granos de Magnetita) sobre los de alteración.

Características morfoscópias :

Siendo las características de los minerales semejantes para las dos muestras, se resumen conjuntamente las mismas a continuación.

Turmalina : De hábito prismático con aristas suavizadas y fragmentos de cristales redondeados. Pertenecen en su mayoría a la variedad ferromagnesiana parda, observándose algunas de coloración pardo-verdosa.

Andalucita : Generalmente se presenta con forma de cristales angulosos e irregulares, a veces de gran tamaño, incoloros o débilmente rosados. En éstos el color no es uniforme, con frecuentes inclusiones oscuras, identificándose algunos granos de variedad Quiaztolita.

Epídota : Dominan los cristales ovóides de color verde y menos frecuentemente verde denegrido y parduzco.

Tren interno (muestras n^{os} 5, 7 a y 8)

Fracción ligera :

En las tres muestras se observa un marcado predominio de Cuarzo sobre Feldespatos, alcanzando un valor de 88 %. Estos son granos subangulares, con escasa alteración química.

Fracción pesada :
=====

La muestra 5 está dominada por Turmalina y Andalucita (aproximadamente en iguales porcentajes) acompañada por Epidota y, en menor cantidad, por Distena, Granate e Hiperstena.

Los opacos alcanzan un valor importante sin llegar a ser mayoría, dominando los naturales (Ilmenita principalmente) sobre los de alteración.

La muestra 7a presenta como minerales pesados transparente la asociación Andalucita-Turmalina-Circón, acompañada por porcentajes menores de Estauroлита, Granate, Epidota y otros minerales en menor cantidad.

Es de destacar en esta muestra que los valores de Andalucita y Turmalina aún siendo dominantes dentro de los densos transparentes, son marcadamente inferiores a los de las muestras anteriores. Paralelamente, el contenido en opacos aumenta de forma considerable, lo cual estará relacionado con el mayor peso específico de éstos (aproximadamente 5 frente a aproximadamente 3), sobre todo teniendo en cuenta que se trata de una muestra situada en alto del mayor tren de dunas interno, muy combatido por el viento. Dentro de estos opacos predominan, como en las muestras anteriores, los naturales frente a los de alteración, con las mismas especies mineralógicas.

En la muestra 8 se define la asociación Andalucita-Turmalina-Epidota acompañada de porcentajes similares de Distena, Estauroлита, Granate y otros minerales.

Esta muestra es representativa de la punta de avance del mayor tren de dunas interno, por lo que predomina la fracción transparente frente a la opaca debido a su menor peso específico.

Los opacos siguen siendo importantes, pero su valor respecto a la muestra anterior es sensiblemente inferior; no obstante su composición no varía, dado que dominan los opacos naturales (Ilmenita, y escasos granos de Magnetita) sobre los de alteración (Leucoxenos y óxidos e hidróxidos de hierro), apreciándose en los opacos naturales señales de alteración superficiales.

Características morfoscópicas :

Andalucita: Se presenta generalmente como cristales irregulares, subangulosos y prismas frecuentemente alargados, dominando los granos incoloros, blanco sucio con algunos de coloración verdosa (Viridiana). En todos son frecuentes las inclusiones carbonosas distribuidas al azar y muy pocos presentan las inclusiones simétricamente orientadas (Quiastolita). El pleocroismo típico es manifiesto en la mayoría de los granos.

Turmalina: Se presenta en prismas alargados con terminaciones irregulares y como fragmentos de cristales más o menos redondeados, generalmente de coloración parda (ferromagnesiana), habiéndose hallado algunos cristales verdes y azules.

Epidota: Se muestra en formas ovóides de color verde (Pistacita) y menos frecuentemente de color verde renegrido y parduzco.

Circón: Aparece como cristales incompletos por rotura transversal del prisma con apuntamiento piramidal redondeado, como granos redondeados y en cristales cortos. En general son incoloros con escasos granos rosas y pálidos. Muestran signos de erosión física presentándose granos con grietas e inclusiones.

Corrales (muestra nº 9 b)

Fracción ligera :
=====

Igual que en las muestras anteriores, dominan ampliamente los cristales de cuarzo, acompañados de feldespatos con evidentes signos de alteración.

Fracción pesada :
=====

Se caracteriza por la asociación Andalucita-Turmalina-Epidota con valores aproximadamente similares de los dos primeros y menor proporción de Epidota. Acompañan a la asociación porcentajes equivalentes de Circón, Estauroлита, Granate y otros minerales en menor cantidad. A diferencia de las anteriores falta en esta muestra la Distena e Hiperstena.

Dentro de los opacos (40 %) existe un dominio de los naturales (aproximadamente el 65 %) compuestos principalmente por Ilmenita y escasos granos de Magnetita. El resto, opacos de alteración con mayor proporción de granos leucoxénicos que de óxidos e hidróxidos de hierro.

Las características de los minerales transparentes son más o menos análogas a las ya descritas en las muestras de las subunidades anteriores, por lo que no se detallan; únicamente indicamos que en esta muestra se aprecia un mayor grado de alteración con respecto a las anteriores, pero sin llegar a ser muy significativo.

Area de Contradunas ("Gusanos") (muestras n^{os} 12 a y 13 a)

Fracción ligera :

En ambas muestras domina ampliamente el curazo sobre feldes-pato, aunque se observa una pequeña disminución del primero en la muestra 12 a con respecto a todas las muestras superficiales.

Fracción pesada :

La muestra 12 a se caracteriza por la asociación Turmalina-Andalucita-Epidota, pero con respecto a las muestras anteriores las diferencias entre ellas no son tan notables ya que las disminuciones de los dos primeros minerales se acompaña con un incremento de Epidota. Con esta asociación se observan contenidos similares de Circón, Distena, Estauroлита, Granate y otros minerales en menores porcentajes.

Al igual que en las muestras anteriores los opacos ocupan un lugar importante acercándose a la mitad de la fracción pesada (48 %). Los opacos naturales dominan sobre los de alteración, siendo las especies presentes similares a las encontradas en las muestras anteriores.

En la muestra 13 a se define la asociación Epidota-Circón-Turmalina-Andalucita, observándose que los porcentajes de estos minerales son prácticamente similares entre ellos (oscilan de 5,4 % a 6,5 %) y en menor cantidad se presentan Granate, Estauroлита, Distena y otros.

El porcentaje de opacos es alto (64 %). En ellos son materiales opacos naturales predominando Ilmenita sobre Magnetita, y en los de alteración Leucoxenos sobre los óxidos e hidróxidos de hierro.

Las características morfoscópicas de los minerales transparentes, siendo más o menos análogas a las anteriormente descritas no se detallan, únicamente se indica que con respecto al Granate domina la variedad Almandino.

Resumiendo, el análisis mineralógico de las diferentes muestras del transecto estudiado demuestra la gran uniformidad existente en todo el área.

Dentro de la fracción ligera existe un marcado predominio de cuarzo sobre feldespatos, mientras que en la fracción pesada el predominio corresponde a la asociación Andalucita-Turmalina-Epidota, entre los transparentes, y a la Ilmenita, entre los opacos.

La composición mineralógica de todo el área es muy parecida a la del material Villafranquiense que constituye el farallón costero, del que provienen las arenas por erosión. Sólo resalta la presencia de Epidota en la asociación mineralógica que no se observa en la correspondiente a dicho farallón.

Perfiles

En las tablas 7 y 8 se recoge la mineralogía de la fracción arena fina (0,2-0,02 mm) de los diferentes horizontes de los perfiles estudiados.

Dentro de los minerales ligeros, el cuarzo es el más abundante, alcanzando el mayor porcentaje en el alto de dunas (86,5 %, muestra 7a). El perfil Corral Largo presenta contenidos en cuarzo y feldespatos similares, por lo que, una vez más, se pone de manifiesto la influencia del cordón de dunas, representado por las muestras 7a y 7b, sobre dicho perfil.

Los perfiles desarrollados en la subunidad "Gusanos" presentan porcentajes de cuarzo ligeramente menores pero, en cualquier caso, sin seguir una secuencia de variación determinada. Todo ello se refleja en la razón feldespato/cuarzo que es similar en todas las muestras de los perfiles, variando entre 0,2 y 0,3 aproximadamente.

Teniendo en cuenta que la densidad o peso específico del cuarzo y feldespato es muy semejante, hay que pensar en una distribución similar en el área, que estará en función del relieve antes que de la fuerza del viento. Una vez admitido esto, siendo el feldespato más alterable que el cuarzo, parece no existir grandes procesos de alteración en la edafogénesis del área de estudio. De todas maneras, habría que tener en cuenta a la hora de sacar conclusiones que esta razón deriva de datos semicuantitativos.

La mineralogía de la fracción pesada transparente muestra, asimismo, grandes similitudes entre los diferentes horizontes de los perfiles. Así, en general, la asociación predominante es Turmalina-Andalucita-Epidota, aunque variando el orden en intensidad entre las

TABLA 7. Distribución porcentual de minerales en base a recuentos (0,2 - 0,02 mm).

Minerales	Muestra N°													
	7a	7b	9 a2	9b	9c	9d	12a	12b	12c	12d	13a	13b	13c	13d
Cuarzo	86,5	84,5	82,9	85,1	85,0	84,4	75,9	74,8	74,6	82,2	83,6	79,2	84,6	80,0
Feldespatos	13,5	15,5	17,1	14,9	15,0	15,6	24,1	25,2	25,4	17,8	16,4	20,8	15,4	20,0
Andalucita	7,6	10,1	17,2	23,1	14,2	19,8	12,3	8,3	8,3	8,6	5,4	14,8	7,3	7,6
Augita	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
Circón	4,1	2,4	0,5	2,0	2,4	2,4	3,4	2,7	3,7	2,8	6,0	2,2	3,1	5,9
Distena	1,4	2,8	1,0	0,0	0,6	0,8	3,0	1,0	1,2	1,4	1,1	3,0	1,6	0,9
Epidota	1,7	4,5	9,7	5,3	5,9	5,6	8,0	9,0	7,1	11,9	6,5	6,5	8,1	7,1
Estauroлита	2,9	3,2	2,7	2,1	3,4	3,2	2,4	3,3	2,0	3,4	2,1	2,8	2,9	3,3
Granate	2,2	1,9	4,3	2,1	3,2	4,1	2,7	3,3	3,6	5,5	4,2	4,9	4,8	3,6
Hiperstena	1,5	3,0	0,0	0,0	0,6	0,4	1,8	1,6	1,3	0,8	0,7	1,0	0,6	1,2
Hornblenda	1,0	1,1	0,5	0,5	0,5	0,0	0,1	0,4	0,7	0,6	0,0	0,8	0,0	0,3
Rutílo	0,1	0,4	0,5	1,1	0,6	0,6	0,6	1,4	2,6	1,5	0,7	0,2	0,2	0,6
Silimanita	0,1	0,2	1,0	0,5	0,3	0,6	1,0	0,3	0,2	0,0	0,5	0,6	0,2	0,2
Titanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0
Turmalina	4,8	10,1	12,9	18,8	19,7	19,5	13,6	12,1	11,7	15,9	5,8	12,2	13,5	9,4
Micas	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	1,0	0,6	0,5
Fragmentos	1,4	2,1	3,7	4,3	3,4	3,0	1,6	0,5	0,8	0,4	1,8	1,6	1,6	1,5
Opacos	69,7	56,9	40,3	40,0	44,9	40,4	48,4	55,9	55,8	46,7	63,9	48,0	54,8	57,9
RAZONES :														
Fesdepa- tos/Cuarzo	0,16	0,18	0,21	0,18	0,18	0,18	0,32	0,34	0,34	0,22	0,20	0,26	0,18	0,25
Estables/ menos estables	1,30	1,10	0,80	0,90	1,40	1,20	1,10	1,20	1,40	1,40	1,50	1,10	1,50	1,50

TABLA 8. Distribución semicuantitativa de minerales opacos (Escala de Tyler y Marden).

Minerales	Muestra N°													
	7a	7b	9a2	9b	9c	9d	12a	12b	12c	12d	13a	13b	13c	13d
Ilmenita	dd	dd	d	d	dd	dd	d	d	d	d	d	d	d	d
Magnetita	r	r	r	r	r	r	r-t	r-t	r-t	r-t	r	r	r	r
Leucoxeno	p-r	p-r	c	c	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p
Oxidos e hidróxidos	t	t	c	p	p	p	t	t	t-r	r	t-r	t-r	r	r

dos primeras. De todas formas pueden agruparse los perfiles Alto de Dunas y Corral Largo frente a los de Gusano Alto y Gusano Bajo. En los primeros el predominio corresponde a la Andalucita, y en los segundos a la Turmalina.

Si se suma por un lado los minerales menos estables (Epidota, Hornblenda, Andalucita, Titanita, Silimanita, e Hiperstena) y por otro, los más estables (Rutilo, Circón, Turmalina, Granate, Estauroлита, y Distena), la razón entre ambos permite observar cierto grado de alteración hacia la profundidad del perfil.

En efecto, la razón estables/menos estables es menor en el perfil Alto de Dunas y en el perfil Corral Largo, influenciado altamente por los aportes eólicos de aquel, así como en los horizontes superficiales de los perfiles Gusano Alto y Gusano Bajo. Pero mientras en el perfil Alto de Dunas disminuye con la profundidad, en los tres perfiles restantes aumenta ligeramente, como consecuencia, posiblemente, de la alteración producida por los alternos procesos de desecación y humectación derivados de la proximidad de la capa freática.

El contenido de minerales opacos (dentro de la fracción de minerales pesados) es similar en todas las muestras, predominando la Ilmenita, seguida de Magnetita y Leucoxenos, pudiéndose considerar que parte de éste proviene de la alteración de la Ilmenita.

En resumen, se observa desde el punto de vista mineralógico, que no existe gran alteración en los perfiles estudiados, lo cual, por otra parte, es lógico ya que el material original ha sido depositado en un estado de gran alteración como indica el alto porcentaje de cuarzo y otros minerales primarios. Sin embargo puede apreciarse, a partir de los minerales pesados, cierta alteración debida a la fluctuación de la capa freática que, en definitiva, parece ser el mayor condicionante de la evolución edáfica.

Como se ha expuesto, puede destacarse que todas las muestras presentan, de forma aproximada, la misma asociación de minerales pesados transparentes: Andalucita-Turmalina-Epidota, acompañada de Circón, variando sólo el orden de dominancia en algunas de ellas. El predominio de esta asociación y la presencia de Estauroлита, Granate y Distena, indica una procedencia de rocas metamórficas fundamentalmente, así como granitos, pegmatitas y otras rocas ígneas de gran abundancia en Sierra Morena. Los asomos de rocas básicas justifican la presencia de Hiperstena y Hornblenda (Pérez Mateos y Ribas, 1961).

Asimismo, es característico de todas las muestras un contenido elevado de minerales opacos, menos importante en las muestras cercanas a la playa. Dentro de los opacos hay que resaltar el alto porcentaje de naturales (principalmente Ilmenita) frente a los de alteración (Leucoxenos y otros óxidos), lo cual está de acuerdo con la mineralogía del farallón Villafranquense del que proceden las arenas del área de estudio (Pérez Mateos y Ribas, 1961).

Tanto en la mineralogía de los perfiles como en la de las muestras superficiales del área, hay que resaltar la presencia de minerales transparentes considerados menos estables, tales como la Epidota que llega a formar parte de la asociación mineralógica característica. La escasa presencia de este mineral en los sedimentos Villafranquenses induce a pensar en una contaminación por arenas más modernas aportadas por las corrientes marinas predominantes de dirección Oeste → Este y cuyo origen está en los aluviones de ríos situados hacia poniente (tales como los ríos Guadiana, Piedras, Tinto y Odiel).

De todo lo anteriormente expuesto, puede afirmarse que el origen de los materiales que forman la unidad de arenas móviles del Parque Nacional de Doñana está, fundamentalmente, en los sedimentos Villafranquienses que constituyen el farallón costero con aportes más modernos de sedimentos aluviales.

La distribución de las arenas en el transecto estudiado se realiza en función de la densidad de los minerales, condicionada por la topografía del área. La influencia de esta topografía a través del nivel freático y la cobertura vegetal que condiciona, es suficientemente importante como para que la granulometría y mineralogía de las arenas permita el establecimiento aproximado de subunidades geomorfológicas.

III.2 PROPIEDADES, GENESIS Y EVOLUCION DE LOS SUELOS

III.2.1 PROPIEDADES Y COMENTARIOS DE LOS RESULTADOS ANALITICOS

Se estudian las propiedades morfológicas y analíticas de tres suelos representativos de las principales formaciones edáficas desarrolladas en el área de arenas móviles.

Las propiedades morfológicas se recogen en las descripciones de los perfiles realizadas según las normas de FAO (1977).

En la tabla 9 se recogen los análisis de materia orgánica, carbonatos y acidez.

Puede apreciarse que, de todos estos datos, es el contenido en materia orgánica la variable más diferenciadora entre los tres suelos estudiados.

En efecto, el porcentaje de materia orgánica varía desde 0,86 en el horizonte A₁ del perfil I (Gusano Alto) hasta 9,0 en el horizonte A₁ del perfil III (Gusano Bajo). Dicha variación está relacionada con la situación topográfica que a su vez condiciona la profundidad de la capa freática. Esta mayor o menor profundidad del nivel freático regula el desarrollo de la vegetación que en definitiva es el responsable de la acumulación de materia orgánica. Por otro lado, la mayor humedad aminora la mineralización de los restos orgánicos por lo que contribuye a dicha mineralización.

Así, en las dunas móviles con nivel freático muy profundo no existe más que trazas de materia orgánica, mientras que en las zonas más deprimidas se desarrollarán horizontes con un contenido elevado de materia orgánica (4 % en el horizonte superficial del perfil II "Corral Largo" y 9 % en el correspondiente al perfil III "Gusano Bajo").

PERFIL I "Gusano Alto"

Fecha Abril 1982
 Clasificación Aquic Xeropsamment
 Localización Area de contradunas de Santa Olalla
 Pendiente $< 2 \%$
 Drenaje externo Moderadamente bien drenado
 Drenaje interno Moderadamente bien drenado
 Prof. capa freática 70 cm
 Geomorfología Contraduna
 Material originario Arenas eólicas
 Vegetación *Halimium halimofolium* (L.), *Helichrysum italicum*

Hori- zonte	Prof. cm	Descripción
A_1	0-15	10 YR 5/4, pardo amarillento (s), con moteados 5 YR 3/3 pardos oscuros; arenoso; grano suelto; muy friable, no adhesivo y no plástico; abundantes poros; abundantes raíces medias y finas; escasa actividad biológica; límite difuso y plano.
Cg_1	15-50	10 YR 6/4, pardo amarillento (h), con moteados 10 YR 6/8, amarillo parduzco; arenoso; grano suelto; suelto, muy friable, no adhesivo y no plástico; abundantes poros; escasas raíces finas; se observan vetas difusas de arenas negras; límite gradual y plano.

....///....

....//....

<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Prof.</u> <u>cm</u>	<u>Descripción</u>
Cg ₂	50-70	10 YR 5/3, pardo (m), moteados 10 YR 6/8 amarillo parduzco; arenoso; grano suelo; suelto, muy friable, no adhesivo y no plástico; abundantes poros; límite gradual difuso.
Cg ₃	70 +	10 YR 5/2 pardo grisáceo (h), con moteados 10 YR 5/6 pardo amarillento; arenoso; grano suelo; suelto, muy friable, no adhesivo y no plástico.

PERFIL II "Corral largo"

Fecha Junio 1980
 Clasificación Typic Psammaquent
 Localización En el "Corral largo", frente a la duna de
 "Cerro gordo"
 Pendiente Menor del 2 %
 Drenaje externo Imperfectamente drenado
 Drenaje interno Imperfectamente drenado
 Prof. capa freática 45 cm
 Geomorfología Corral
 Material original Arenas eólicas
 Vegetación Asociación Holoschoeno - Juncetum acuti

<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Prof.</u> <u>cm</u>	<u>Descripción</u>
A ₁₁	0-2	5 YR 2,5/2, pardo rojizo oscuro (h), con abundantes granos de arena de color claro, y manchas difusas de óxidos hacia la base del horizonte; arenoso; fibroso de aspecto afieltrado; tendencia a suelto (s), muy friable (h), no adhesivo (m) y no plástico; abundantes raíces finas y muy finas; buena actividad biológica; límite brusco e interrumpido.
A _{12g}	2-7	Abigarrado difuso, matriz 10 YR 4/4, pardo amarillenta oscura (h), con moteados 7,5 YR 4/4 pardos (h), y 7,5 YR 5/6, pardo fuerte (h) pardo fuerte; pequeñas manchas muy oscuras de materia húmica, similares a las del horizonte anterior, 10 YR 7/3 pardo muy pálido (s); arenoso; migajosa muy fina a migajosa particular y de grano suelto; muy suelto (s), muy fría

.....//.....

....///....

Hori- zonte	Prof. cm	Descripción
		ble a suelto (h), no adhesivo (m) y no plástico; fre- cuentes raíces finas y algunas medianas, con restos de raíces, tallos y hojas; buera actividad biológica; límite neto y plano.
Cg ₁	7-20	Color abigarrado más difuso que el anterior, de ma- triz 10 YR 6/3, pardo pálido (h), con moteado más fino y menos denso 5 YR 4/6, rojo amarillento (h), localizado preferentemente en las zonas radicales; arenoso; grano suelto; muy suelto (s), suelto (h), no adhesivo (m) y no plástico; frecuentes raíces fi- nas y medianas, desigualmente repartidas y algunos restos de raíces; escasa actividad biológica; lími- te neto y plano.
Cg ₂	20-65	10 YR 6/3, pardo pálido (h), con veteado 10 YR 5/1, gris (h), y 2,5 YR 3/0, gris muy oscuro (h); areno- so; grano suelto; muy suelto (s), muy friable (h), no adhesivo (m) y no plástico; escasas raíces, prin- cipalmente restos; muy escasa actividad biológica; ligero olor sáprico; napa agua.
C ₃	65 +	10 YR 7/3, pardo muy pálido (s), 10 YR 6/3, pardo pá- lido (h); arenoso; grano suelto; muy suelto (s), muy friable (h), no adhesivo (m) y no plástico.



Perfil II "Corral Largo"

Typic Psammaquent.



Perfil III "Gusano Bajo"

Mollic Psammaquent.

TABLA 9. Determinaciones Químicas Generales.

Perfil	Muestra Nº	Horiz.	Prof. cm	%			C/N	% CO_3	pH	
				M.O.	C	N			H ₂ O	ClK
I Gusano Alto	12a	A ₁	0-15	0,86	0,50	0,05	10,0	0,0	6,5	5,7
	12b	Cg ₁	15-50	0,52	0,30	0,03	10,0	0,0	6,7	6,0
	12c	Cg ₂	50-70	0,52	0,30	0,03	10,0	0,0	6,8	6,3
	12d	Cg ₃	70 +	0,59	0,34	0,04	8,5	0,0	7,3	6,0
II Corral Largo	9a1	A ₁₁	0-2	4,02	2,33	0,17	14,7	0,0	5,8	5,1
	9a2	A ₁₂ ^g	2-7	1,60	0,93	0,07	13,3	0,0	6,0	5,2
	9b	Cg ₁	7-20	0,38	0,22	0,03	8,8	0,0	6,0	4,9
	9c	Cg ₂	20-65	0,19	0,11	0,02	7,7	0,0	5,7	4,5
	9d	C ₃	65 +	0,17	0,10	0,02	8,5	0,0	-	-
III Gusano Bajo	13a	A ₁	0-15	9,00	5,20	0,45	11,6	0,0	5,7	4,7
	13b	AGo	15-30	0,52	0,30	0,03	10,0	0,0	6,7	5,6
	13c	Go	30-60	0,34	0,20	0,03	6,7	0,0	6,6	5,7
	13d	Gr	60 +	0,52	0,30	0,03	10,0	0,0	7,0	5,8

Los valores de carbono y nitrógeno siguen una secuencia de variación ligeramente paralela a la de materia orgánica, si bien en nitrógeno lo hace en menor medida como se desprende de la razón C/N. Dicha razón desciende con el incremento de la profundidad, lo que indica una disminución más rápida del carbono respecto del nitrógeno de acuerdo con la mineralización que sufren los compuestos orgánicos a lo largo del perfil.

Los valores de la razón C/N son bajos, correspondiendo los más elevados a los horizontes superficiales, como se ha indicado anteriormente. Dentro de estas muestras superficiales, la razón más baja se sitúa en el perfil I ubicado en cotas más altas y por tanto sujeto en mayor medida a la mineralización provocada por el clima xérico del área de estudio.

Los suelos presentan una ligera acidez superficial que se atenúa en profundidad o bien se mantiene. Esta acidez se ve acentuada en los suelos más hidromorfos como puede apreciarse en los valores de los distintos horizontes que se recogen en la tabla 9. Así, los horizontes superficiales de los suelos más húmedos (perfiles II y III) tienen un valor de pH de 5,7-5,8 mientras que en el perfil I dicho valor es de 6,5. Esta acidez más o menos acentuada, se refleja en los contenidos nulos de carbonatos de calcio.

El análisis mecánico de los suelos indica que la textura de los mismos es arenosa, con más del 97 % (fracciones gruesas y finas). (ver tabla 10). Dentro de estas fracciones, el predominio corresponde a la arena gruesa como ya se comentó en el capítulo de granulometría.

Los resultados son similares, diferenciándose tan solo en un ligero aumento de arena gruesa en detrimento de la arena fina que se

TABLA 10. Análisis Mecánico (%).

Perfil	Muestra Nº	Horiz.	Prof. cm	Arena gruesa 2-0,2 mm	Arena fina 0,2-0,02 mm	Limo 0,02-0,002 mm	Arcilla <0,002mm	Clase Textural
I Gusano Alto	12a	A ₁	0-15	91,1	8,0	0,9	t	Arenosa
	12b	Cg ₁	15-50	86,1	13,6	t	t	Arenosa
	12c	Cg ₂	50-70	91,0	8,6	t	t	Arenosa
	12d	Cg ₃	70 +	91,7	8,6	t	t	Arenosa
II Corral Largo	9a1	A ₁₁	0-2	89,5	4,2	3,8	2,5	Arenosa
	9a2	A _{12g}	2-7	91,0	6,5	1,5	1,0	Arenosa
	9b	Cg ₁	7-20	90,6	9,0	0,2	0,2	Arenosa
	9c	Cg ₂	20-65	87,5	11,8	0,2	0,5	Arenosa
	9d	C ₃	65 +	91,5	8,1	0,2	0,2	Arenosa
III Gusano Bajo	13a	A ₁	0-15	57,7	21,7	7,0	9,0	Ar.-franco
	13b	AG ₀	15-30	82,2	16,3	1,0	0,5	Arenosa
	13c	G ₀	30-60	82,8	16,4	t	t	Arenosa
	13d	Gr	60 +	80,2	19,0	t	t	Arenosa

debe a que en el análisis granulométrico el tamizado se realizó con un vibrador.

Sólo cabe destacar diferencias en los horizontes superficiales que presentan un contenido no muy alto de limo y arcilla, que corresponde en realidad a partículas de esos tamaños provenientes fundamentalmente de la materia orgánica. De todas formas hay que admitir una pequeña proporción de arcillas y limos minerales, de aporte eólico fijados en las zonas más húmedas (perfiles II y III).

No existe distribución de estos materiales finos en el perfil debido, por un lado, a su escasa presencia y por otro, a la juventud de los suelos, como se deduce de su aparición en profundidad.

En la tabla 11 se recogen los resultados de las determinaciones de la capacidad de cambio catiónico (T) y cationes cambiabiles (S) de los suelos, así como el grado de saturación en bases (V) de los mismos.

Como se sabe, la capacidad de cambio está relacionada con el complejo de adsorción del suelo que está compuesto fundamentalmente por la materia orgánica y la fracción arcilla.

Los suelos estudiados no presentan contenidos en arcillas, como se ha comentado anteriormente, por lo que las capacidades de cambio estarán relacionadas con los contenidos de materia orgánica correspondiendo, por lo tanto, los valores más altos a los horizontes superficiales.

En efecto, el horizonte A_1 del perfil III presenta la más alta capacidad de cambio (10 meq/100 gr), siguiéndole en importancia los ho-

TABLA 11. Capacidad de cambio y grado de saturación.

Perfil	Muestra Nº	Horiz.	Prof. cm	meq / 100 gr						V %
				T (C.C.C.)	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S	
I Gusano Alto	12a	A ₁	0-15	1,50	0,25	t	0,60	0,10	0,95	63,3
	12b	Cg ₁	15-50	1,00	0,25	t	0,40	0,05	0,70	70,0
	12c	Cg ₂	50-70	1,00	0,25	t	0,43	0,05	0,73	73,0
	12d	Cg ₃	70 +	1,00	0,25	t	0,50	0,10	0,85	85,0
II Corral Largo	9a1	A ₁₁	0-2	7,30	0,30	t	4,50	1,00	5,80	79,5
	9a2	A _{12g}	2-7	3,20	0,00	0,0	1,90	0,60	2,50	78,1
	9b	Cg ₁	7-20	0,90	0,00	0,0	t	t	t	-
	9c	Cg ₂	20-65	0,90	0,00	0,0	t	t	t	-
	9d	C ₃	65 +	-	-	-	-	-	-	-
III Gusano Bajo	13a	A ₁	0-15	10,0	0,70	t	4,60	1,50	6,80	68,0
	13b	AG ₀	15-30	2,00	0,50	t	0,45	0,11	1,06	53,0
	13c	G ₀	30-60	1,50	0,45	t	0,58	0,09	1,12	74,7
	13d	Gr	60 +	1,25	0,45	t	0,40	0,08	0,93	74,7

rizones A_{11} y A_{12} g del perfil II (7,3 y 3,2 meq/100 gr respectivamente), de acuerdo a sus mayores porcentajes de materia orgánica. Estos valores disminuyen bruscamente al pasar a los horizontes más profundos que presentan una capacidad de cambio muy baja, como corresponde a una textura arenosa. Dichos valores oscilan entre 1 y 2 meq/100 gr.

Los cationes de cambio se encuentran en muy baja proporción de acuerdo con las bajas capacidades de cambio. Na^+ y K^+ no alcanzan el valor de 1 meq/100 gr ni siquiera en los horizontes con más alta capacidad de cambio. Ca^{++} y Mg^{++} se encuentran en mayor proporción siendo apreciable el primero en los horizontes superficiales de los perfiles II y III donde alcanza el valor 4,50 meq/100 gr.

De cualquier forma, la suma de cationes cambiables es siempre inferior a la capacidad de cambio lo cual hace que los suelos no alcancen en ningún caso la saturación, de acuerdo, por otra parte, a los valores de pH. Así, el grado de saturación aumenta con la profundidad en la misma medida que disminuye la acidez.

En resumen, los suelos son de textura gruesa, pobres en materia orgánica (exceptuando el horizonte A_1 del perfil III) y por tanto con baja capacidad de cambio. La reacción es ligeramente ácida, por lo que el grado de saturación no alcanza el 100 %. Sólo el mayor contenido en materia orgánica de los horizontes superficiales de los perfiles con capa freática más alta, presentan valores de capacidad de cambio apreciables.

Quizás sea el hierro, debido a su posibilidad de óxido-reducción, el elemento que mejor traduce los procesos de la evolución edáfica. Por ello se ha determinado su contenido en los perfiles estudiados en sus formas libre y total.

Dentro de cada perfil se ha muestreado para esta determinación, el horizonte superficial A y el más profundo, donde aparece la capa freática. Los resultados se recogen en la tabla 12.

En ella puede observarse que es el perfil II, situado en el Corral Largo, el que presenta los más bajos contenidos (1,30 % en superficie y 0,57 % en profundidad). Hay que tener en cuenta que es el perfil más alejado de la zona de lagunas hacia donde circula la capa freática y, por tanto, habría que pensar en un mayor lavado. A favor de esto parece estar el enriquecimiento en Fe_2O_3 , que se produce en el horizonte profundo de los diferentes perfiles, a medida que se aproxima su ubicación hacia dicha zona lagunar. En efecto, el perfil I presenta un contenido de 2,36 % que aumenta a 2,86 % en el correspondiente horizonte del perfil III, más deprimido y próximo a la laguna de Santa Olalla.

Es en este perfil donde hay que destacar el contenido en Fe_2O_3 total del horizonte superficial, donde alcanza un valor de 12,33 %. Este alto porcentaje se debe a una acumulación de hierro en las zonas más deprimidas en contacto con el nivel acuífero de la laguna, de forma análoga a lo que ocurre en los suelos arenosos en contacto con la marisma (Clemente y col., 1981).

Las razones Fe_2O_3 libre / Fe_2O_3 total son menores en profundidad que en superficie, debido a que en el nivel freático el hierro se encuentra en forma complejada. Es de resaltar el bajo valor (3,5)

TABLA 12. Determinaciones de Hierro.

Perfil	Muestra Nº	Horiz.	Prof. cm	Hierro total %	Hierro libre %	Hierro libre / Hierro total %
I Gusano Alto	12a	A ₁	0-15	1,57	0,14	8,9
	12d	C	70 +	2,36	0,17	7,2
II Corral Largo	9a	A ₁₁ + A ₁₂ ^g	0-7	1,30	0,42	32,3
	9d	C ₃ ^g	65 +	0,57	0,07	12,3
III Gusano Bajo	13a	A ₁	0-15	12,33	11,15	90,4
	13d	Gr	60 +	2,86	0,10	3,5

del horizonte profundo del perfil III, donde existe una mayor intensidad del proceso de hidromorfía. La mayor o menor intensidad de este proceso, a través de los fenómenos de óxido-reducción que produce, se manifiesta claramente en la diferencia de los valores de la razón Fe_2O_3 libre/ Fe_2O_3 total entre los horizontes superficial y profundo de cada perfil.

En efecto, el perfil situado en cotas más altas, y por tanto menos afectado por la fluctuación de la capa freática (perfil I) presenta unos valores similares en los horizontes superficial y profundo (8,9 y 7,2 respectivamente). El perfil II, en situación más deprimida que el anterior, ya muestra una diferencia entre ambos, concretamente 32,3 y 12,3, respectivamente. Esta diferencia se hace muy marcada en el perfil III, ubicado en la zona de mayor depresión, donde las razones alcanzan el valor de 90,4 en el horizonte superficial y de 3,5 en el horizonte profundo.

En resumen, los valores de hierro muestran un lavado más intenso en los materiales más alejados de la zona de concentración del nivel freático y un enriquecimiento hacia los perfiles ubicados en proximidad de la línea de lagunas.

Finalmente, la intensidad del proceso de hidromorfía parece incidir claramente en la diferencia de los valores de la razón Fe_2O_3 libre/ Fe_2O_3 total entre los horizontes superficial y profundo de cada perfil.

III.2.2 GENESIS Y EVOLUCION DE LOS SUELOS

Una interpretación correcta de la génesis y evolución de los suelos requiere el conocimiento de los factores edafológicos que condicionan su desarrollo (Duchaufour, 1968; Tricart y Michel, 1965; Clemente, 1973 y otros).

La zona de estudio se encuentra bien conservada, siendo la influencia humana muy escasa. Por ello, los factores ecológicos que tienen una marcada influencia son: material original, geomorfología, clima y vegetación.

El material original está constituido por arenas cuarcíticas, que provienen de la erosión del farallón costero Villafranquiense, con una ligera contaminación de los aportes de ríos situados al oeste del área, como parece indicar el estudio mineralógico realizado.

A partir de dicho estudio, así como del análisis granulométrico, puede afirmarse que existe un predominio de la fracción gruesa (Escala Internacional) en el material original, fundamentalmente las de tamaño comprendido entre 0,2 y 0,5 mm.

La distribución de las arenas tienen un origen eólico y está más condicionada por la topografía que por la distancia recorrida. Este condicionamiento topográfico es más marcado en la fracción arena fina (menos de 0,2 mm) y sobre todo en su composición en ligeros y pesados. En efecto, mientras que en los perfiles 0; I y III, la proporción de ligeros no sobrepasa el 65 %, en el perfil II, el porcentaje se sitúa entre 80 y 90 % aproximadamente.

Dentro de los minerales ligeros existe un predominio manifiesto de cuarzo sobre feldespato, mientras que en los minerales pesados

existe mayor equilibrio entre los opacos y transparentes (alrededor del 40-60 %). En los primeros predomina la Ilmenita y en los segundos, la asociación mineralógica dominante es Andalucita-Turmalina-Epidota.

La presencia relativamente abundante en esta asociación de minerales moderadamente estables, como Andalucita y Epidota, parece indicar una escasa alteración edáfica del material original, lo que está de acuerdo con la juventud de los suelos.

Quizás sea el factor geomorfológico el principal responsable de la génesis y evolución edáfica, desde el momento en que es condicionante de la profundidad del nivel freático que, a su vez, determina la densidad de la cobertura vegetal. De hecho, en función de las subunidades geomorfológicas preestablecidas por fotointerpretación, se han escogido las distintas formaciones edáficas desarrolladas en la gran unidad de arenas móviles.

El clima, clasificado como seco-subhúmedo con exceso de agua en invierno, según Thornthwaite, define el régimen de humedad como xérico, salvo en aquellas situaciones en las que la proximidad a la superficie de la capa freática permite definirlo como ácuico.

Ligada a los dos factores anteriores (geomorfología y clima, a través del régimen de humedad), la vegetación tiene un papel importante en la diferenciación del horizonte superficial, llegando a definirse características de epipedón mólico o úmblico según el grado de saturación del complejo.

La acción conjunta de los factores ecológicos y su intensidad se reflejan en el diferente grado de desarrollo de los perfiles de suelos que llegan a constituir una catena de evolución cuyos estadios se discuten a continuación:

Perfil 0

Dentro del área de arenas móviles, la mayor parte corresponde a los cordones dunares en los que, debido, por una parte, a la poca alterabilidad del material original (arenas cuarcíticas) y, por otra, a la movilidad del substrato, no existe desarrollo edáfico alguno. El perfil de arenas está representado por las muestras n^{os} 7a (0-20) y 7b (60-80 cm), cuyo estudio granulométrico ha sido comentado anteriormente.

No existe ningún tipo de diferenciación entre ambas muestras, esto es, no existe ni siquiera una ligera acumulación de materia orgánica en superficie, indicios de hidromorfía por capa freática, ni leves procesos de alteración mineralógica. Puede considerarse a este perfil 0 formado por un horizonte C que corresponde al material original de la edafogénesis del área de estudio.

Perfil I

Detrás del paso de los frentes dunares aparecen pequeñas elevaciones (aproximadamente de 50 cm) arenosas, fijadas por la humedad del nivel freático y que permite la colonización por la vegetación. Estas pequeñas elevaciones tienen forma semicircular y reciben el nombre de contradunas.

A la parte alta de ellas pertenece el perfil I. Es un suelo poco evolucionado con escaso desarrollo morfológico, pudiéndose diferenciar un horizonte A₁, poco profundo (15 cm) y escaso contenido en materia orgánica (0,86 %). El bajo contenido en carbono orgánico (0,50 %) y la baja razón C/N (10,0) indican una buena mineralización del humus que será del tipo mull, concretamente mull forestal, debido a los valores de pH y grado de saturación (tabla 11).

La capa freática, cercana a la superficie en las épocas húmedas, provoca un fenómeno de hidromorfía suficientemente acentuado para afectar a la casi totalidad del perfil. El resultado es la formación de manchas ferruginosas de óxido-reducción, más manifestadas hacia la profundidad como consecuencia de la movilización de los óxidos de hierro.

La escasa evolución del suelo no permite definir ningún horizonte de diagnóstico, salvo un inicio de epipedón ócrico, lo que obliga a clasificar el suelo como Entisol. La textura arenosa a mayor profundidad de un metro lo introduce en el suborden Psamment, y el régimen de humedad xérico en el Gran Grupo Xeropsamment. Finalmente, los fenómenos de hidromorfía que pueden observarse en la morfología del perfil permite clasificarlo como Aquic Xeropsamment.

Debido a la composición mineralógica de la arena, con valores de cuarzo y otros minerales poco alterables, próximos al 95 %, hay que admitir la posibilidad de la existencia en sitios similares de suelos que puedan clasificarse como Aquic Quartzipsamment.

Perfil II

Entre los distintos frentes dunares aparecen zonas más deprimidas con el nivel freático cercano a la superficie que se denominan "Corrales". Dentro de la zona estudiada, el Corral Largo es el más representativo.

El perfil II define el suelo típico de esta unidad geomorfológica. Presenta una geomorfología con escasa diferenciación, de acuerdo a la juventud del suelo. La capa freática, detectada a 50 cm de

profundidad en verano, condiciona fuertemente la evolución edáfica, al mismo tiempo que permite un desarrollo de la vegetación.

La mayor cobertura vegetal favorece la formación de un horizonte superficial poco profundo (7 cm), con un contenido en materia orgánica más elevado que el perfil anterior (4,02 % y 1,60 %).

Los valores de Carbono, Nitrógeno, C/N, pH y Grado de saturación permiten definir, en este horizonte, un humus de tipo Mull forestal subtipo hidromull.

La escasa potencia del horizonte húmico y la no existencia de horizonte de diagnóstico, clasifica al suelo como Entisol. El color grisáceo, en profundidad, y el abigarramiento que muestran los horizontes superficiales, así como un ligero olor sáprico, determinan unas condiciones de reducción típicas de un régimen de humedad ácuico que define al suborden Aquent. De nuevo, la textura arenosa profunda condiciona su clasificación como Psammaquent, que cumple el concepto central de Gran Grupo, por lo que, a nivel de Subgrupo, el perfil II se clasifica finalmente como Typic Psammaquent.

Perfil III

El avance de las arenas en los alrededores de la laguna de Santa Olalla, ha dado origen a unas formaciones semicirculares equiparables a contradunas, cuyas partes altas están representadas por el perfil I ya comentado. Entre dichas contradunas aparecen zonas muy deprimidas y nivel freático alto, donde se desarrollan suelos con características definidas por el perfil III.

Igual que los anteriores, se trata de un suelo escasamente desarrollado debido a la mayor inalterabilidad del material original. La mayor altura de la capa freática provoca fenómenos de hidromorfía más intensos, llegándose a diferenciar horizontes de gleyzación. Al mismo tiempo, la mayor densidad de vegetación origina un horizonte A más potente y con mayor contenido de materia orgánica (9,0 %).

Las características químicas de dichos horizontes son similares a las del perfil anterior, por lo que el tipo de humus se define, asimismo, Mull forestal subtipo hidromull.

La juventud del suelo y la escasa diferenciación morfológica clasifica al suelo dentro del orden Entisol, y el marcado régimen de humedad ácuico en el suborden Aquent. La naturaleza arenosa del material original define el Gran Grupo Psammaquent.

Debido al espesor del horizonte A_1 (15 cm), al contenido de materia orgánica y al valor del chroma, el suelo se clasifica como Mollic Psammaquent, lo que constituye el estado más avanzado de evolución dentro del área de estudio.

La discusión de los diferentes perfiles estudiados indica, en primer lugar, la influencia del material original en el escaso desarrollo edáfico.

En efecto, por tratarse de un material arenoso de naturaleza fundamentalmente cuarcítica esto es, de muy escasa alteración, la catena de evolución que puede establecerse en el área es poco diferenciada y genéticamente de escaso desarrollo.

Existe una íntima relación entre geomorfología, suelo y vegetación. La geomorfología condiciona la profundidad de la capa freática.

ca que, a su vez, como se ha indicado, determina la densidad de la cobertura vegetal. Ambos (nivel freático y vegetación) son los responsables directos de los dos procesos apreciables en la evolución edáfica del área de estudio: hidromorfía y acumulación de materia orgánica. Por ello, es la geomorfología, en definitiva, el principal factor ecológico de la génesis del suelo.

En base a esto, puede fácilmente enmarcarse la evolución edáfica en la dinámica de la evolución geomorfológica, estableciéndose una catena que va desde el perfil 0, situado en enclaves más elevados y constituido por un horizonte C de arenas de dunas móviles hasta el perfil III en zonas de mayor depresión, nivel freático más elevado y horizonte superficial de mayor espesor (Maman'in, 1979).

IV. CONCLUSIONES

El estudio de las principales formaciones edáficas y de los factores ecológicos que condicionan su génesis y evolución, permiten establecer, a modo de resumen, las siguientes conclusiones:

El materia original está formado por arenas fundamentalmente cuarcíticas, provenientes de la erosión del farallón costero Villafranquiense.

Las arenas tienen una granulometría con predominio de las fracciones gruesas, principalmente de tamaños entre 0,2 y 0,5 mm.

La fracción arena fina (0,2 - 0,02 mm) tiene una mayor importancia en la distribución selectiva de los materiales, influyendo en dicha distribución la topografía antes que la distancia recorrida por acción eólica.

Puede establecerse que cuarzo es muy predominante en la fracción ligera, e Ilmenita y asociación Andalucita-Turmalina-Epidota en los minerales opacos y transparentes, respectivamente, que la fracción pesada.

Desde un punto de vista geomorfológico, pueden establecerse una serie de subunidades dentro de la gran unidad de Arenas Móviles: Línea de Playa, Trenes de dunas litorales, Trenes de dunas internos, Corrales y Area de contradunas próxima a la laguna de Santa Olalla conocida con el nombre de "Gusanos".

El clima es seco-subhúmedo, con exceso de agua en invierno, según Thornthwaite, que define un régimen de humedad xérico salvo en las situaciones deprimidas, en las que la cercanía a la superficie de la capa freática determina un régimen de humedad ácuico.

Pueden establecerse asociaciones vegetales estrechamente ligadas a la geomorfología.

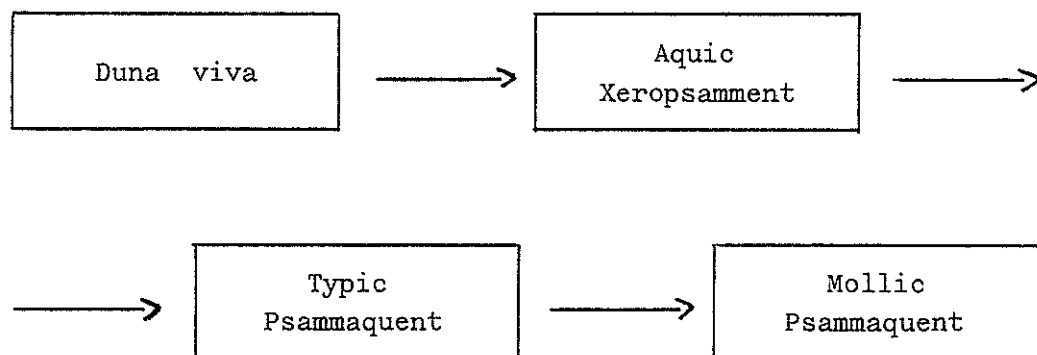
El factor ecológico geomorfología es el principal condicionante de la evolución edáfica, ya que determina la intensidad de los dos procesos edáficos fundamentales: hidromorfía y acumulación de materia orgánica.

La hidromorfía está patente en todos los perfiles, salvo en las dunas móviles (perfil 0), pero con distinto grado de intensidad.

La acumulación de materia orgánica es el principal proceso diferenciador de la morfología del perfil en cuanto a la formación del horizonte superficial A.

Ambos procesos, acumulación de materia orgánica e hidromorfía son responsables de la reducción y movilización de los óxidos de hierro que emigran a través de la capa freática hacia la zona de lagunas, como demuestra el incremento en el contenido de óxidos de hierro en esta dirección.

Finalmente, puede definirse la siguiente secuencia de evolución de suelos en el área de arenas móviles :



La catena de suelos es poco diferenciada debido a la juventud de los mismos y a la poca alterabilidad del material original, que dificulta un mayor desarrollo genético.

V. BIBLIOGRAFIA

- ALEIXANDRE, T. y PINILLA, A. 1968. "Algunas modificaciones en las técnicas aplicadas al estudio mineralógico de fracciones gruesas o arenas". An. Edaf. y Agrobiol. Madrid, T. XXVII, nº 7-8, pp. 563-567.
- ALLIER, C.; GONZALEZ BERNALDEZ, F. y RAMIREZ D., L. 1974. "Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana". C.S.I.C. Sevilla.
- CABEZUDO-ARTERO. 1975. "Estudio de la flora y vegetación de la Reserva Biológica de Doñana". Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- CLEMENTE, L. 1973. "Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Guadalquivir". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencia de Sevilla.
- CLEMENTE, L. 1978. "Tierra negra andaluza (vertisol) sobre sedimentos de terrazas del Guadalquivir". An. Edaf. y Agrobiol. XXXVII, 5-6, p. 461.

- CLEMENTE y col. 1981. "Génesis y evolución de las costras ferruginosas en la Reserva Biológica de Doñana". Actad de la 5ª Reunión del Cuaternario, Sevilla.
- DAVIES, J.L. 1972. "Geographical Variation in Coastal Deveiopment". Oliver and Boyd, Edimburgh.
- DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M. y MAES, L. 1955. "L'analyse mécanique au moyen de l'hydromètre à chaîne". Silic. Indust., 20, p. 237.
- DUCHAUFOR, Ph. 1968. "L'évolution des sols". Mason et Cie. Paris.
- DUCHAUFOR, Ph. 1970. "Precis de Pédologie". Mason et Cie. París.
- DUCHAUFOR, Ph. 1975. "Tratado de Edafología". Toray-Masson, Barcelona.
- ENDREDY, A.S. 1963. "Estimation of free iron oxid in soils and clays by a photolytic method". Clay Miner. Bull., 29, 5, p. 209.
- F.A.O. 1968. "Guía para la descripción de perfiles de suelos". Dir. Fom. Tierras y Aguas. Roma.
- FIGUEROA, E. 1976. "Ecología del Pinus pinea L. en el Parque Nacional de Doñana". Tesina de Licenciatura. Universidad de Scvilla.
- GARCIA NOVO, F.; RAMIREZ D., L. y TORRES M., A. 1975. "El sistema de dunas de Doñana". Naturalia Hispanica. Nº 5. ICONA, Ministerio de Agricultura. Madrid.
- GARCIA NOVO, F. 1977. "Fire effect on the vegetation of Doñana National Park (SW. Spain)". Symposium on the Environmental Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems U.S.D.A. Technical Report, WD-3, p. 318.
- GARCIA NOVO, F. 1979. "The ecology of vegetation of the dunes in Doñana National Park (SW. Spain)". First European Ecological Symposium and the 19th Symposium of the British Ecological Society, 34, pp. 571. Norwich. Inglaterra.

- GARCIA NOVO, F. 1980. "Descripción ecológica del Parque Nacional de Doñana". Departamento de Ecología, Universidad de Sevilla.
- GIGNOUX, M. 1960. "Géologie stratigraphique". Masson et Cie. París.
- HERNANDO, J. 1978. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- HERNANDO, V. y SANCHEZ, P. 1954. "Estudio del pH en suelos de distintas características". An. Edaf. y Fisiol. Veg. XIII, p. 737.
- HIDALGO, L. y CANDELA, M.R. 1958. "El poder clorosante de los suelos calizos en el viñedo". Bol. Inst. Nac. Inv. Agron. XVIII, p. 383.
- HOYT, J.H. 1966. "Air and sand movement to the lee of the dunes". Sedimentology, vol. 7, p. 137.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1975. "Memoria explicativa de la hoja 1033 (Palacio de Doñana) escala 1:50.000". Madrid.
- JACKSON, M.L. 1962. "Soil Chemical Analysis". Constable & Co. LTD. London.
- KERR, P.F. 1965. "Mineralogía Optica". Edit. del Castillo, 3^a ed. Madrid.
- MAMAN'IN, A.N. 1979. "Primitive soils on the sand of northern Kazakhstan". Soviet Soil Sci., 11, p. 402.
- MARTIN V., A. 1980. "El matorral de las arenas estabilizadas de Doñana". Departamento de Ecología. Universidad de Sevilla.
- MENANTEAU, L. y CLEMENTE, L. 1977 a. "Variación de la influencia marina y su incidencia en la transformación del paisaje aluvial del delta del Guadalquivir durante los dos últimos milenios". Actad de la II Reunión Grupo Trabajo Cuaternario. Jaca (Huesca).

- MENANTEAU, L. y CLEMENTE, L. 1977b. "Nuevos datos sobre las relaciones entre la erosión costera y el ascenso del nivel marino en el sector Mazagón-Chipiona. Papel de la tectónica". Actas II Reunión Grupo Trabajo Cuaternario. Jaca (Huesca).
- MENENDEZ AMOR, J. y FLOR SCHÜTZ, F. 1964. "Resultados del análisis paleobotánico de una capa de turba en las cercanías de Huelva (Andalucía)". Estudios Geológicos XX, p. 183.
- MUDARRA, J.L.; MERINO, J.; CLEMENTE, L. y FIGUEROA, E. 1977. "Descripción de los principales tipos de suelos en la Reserva Biológica de Doñana". I Reunión Iberoamericana Zool. Vert., La Rábida (Huelva).
- MUNSELL COLOR COMPANY, INC. USA 1954. "Munsell soil color charts". Maryland (USA).
- MUROHY, J. y RILEY, J.P. 1962. "Determinación de fósforo en solución" Anal. Chim. Acta, 27, p. 31.
- PARFENOFF, A.; POMEROL, C. y TOURENQ, J. 1970. "Les Minéraux en Grains". Mét. d'étude et détermination. Masson et Cie. París.
- PAUL, K.H. 1944. "Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung. I. Gestaltung der Bodenformen in ihrer Abhängigkeit von der Pflanzendecke". Nova Acta Leopoldina N.F., 13, p. 245.
- PAUL, K.H. 1953. "Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung. II. Entwicklung der Pflanzendecke von der Besiedlung des Flugsandes bis zum Wold". Nova Acta Leopoldina N.F., 16, p. 261.
- PELLOUX, P.; DABIN, B.; FILLMAN, G. y GOMEZ, P. 1971. "Méthode de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols". ORSTOM Initiations-Documentations Techniques, nº 17. París.
- PENA, J. y BAÑOS, C. 1978. "Suelos sobre dunas fijas y áreas de depresión interdunares del Coto de Doñana (Huelva-España)". Monografía. Centro de Edaf. y Biol. Aplic. del Cuarto. Sevilla.

- PEREZ MATEOS, J. 1965. "Análisis Mineralógico de Arenas". Mét. de Estudio. Manuales de Ciencia Actual. C.S.I.C. Patronato "Alonso de Herrera". Madrid.
- PEREZ MATEOS, J. y RIBA, O. 1961. "Estudios de los sedimentos pliocenos y cuaternarios de Huelva". II Reunión de Sedimentología, C.S.I.C., Madrid, 87-94.
- PINTA, M. 1971. "Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique". ORSTOM, Masson et Cie, París.
- RAMIREZ DIAZ. 1973. "Estudio ecológico cuantitativo del matorral de la Reserva Biológica de Doñana". Tesis Doctoral, Serv. Public. de la Universidad de Sevilla. Sevilla.
- RIVAS MARTINEZ y col. 1966. "Esquema de la vegetación psamófila de las costas gaditanas". Homenaje en memoria del Prof. José María Albareda Herrera. Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona. Barcelona.
- RIVAS MARTINEZ, S.; CASTROVIEJO, S.; VALDES BERMEJO, E.; CALONGE, F.D.; COSTA, M.; SAEZ LEON, C. y PORTA, J. 1981. "Estudio botánico de los ecosistemas de Doñana". En prensa.
- SILJESTRÖM, P. 1981. "Propiedades, génesis y evolución de los suelos de la Reserva Biológica de Doñana". Tesina de Licenciatura, Universidad de Sevilla.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. "Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys". U.S.D.A. Handb. Washington D.C.
- TERAN, M. de 1967. "Geografía de España y Portugal". IV-III, p. 75. Montaner y Simón S.A., Barcelona.
- THORNTWAITE, W.C. 1948. "An approach toward a rational classification of climate". Geogr. Rev., 38, p. 55.

TORRES-MARTINEZ, A. 1975. "Estudio ecológico cuantitativo de los sistemas de dunas y marisma de la Reserva Biológica de Doñana". Serv. Public. Universidad de Sevilla. Sevilla.

TRICART, J. y MICHEL, P. 1965. "Morphogénèse et Pédogénèse. I. Approche méthodologique: Géomorphologie et Pédologie". Sc. du Sol, 1, p. 69.

WALKLEY, A. y BLACK, I.A. 1934. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic and titration method". Soil Sci., 37, p. 29.

Fe de erratas

- No existen las páginas 14, 15, 16, 17 y 18.